ROLAND OMNES

EVREN VE DÖNÜŞÜMLERİ

ONUR YAYINLARI

BİRİNCİ BASKI

EVREN VE DÖNÜŞÜMLERİ

ROLAND OMNES

ÇEVİRENLER
SACİT TAMEROĞLU
H. VEHBİ ERALP

Roland Omnès'in *L'Univers et ses métamorphoses* (Collection Savoir, Paris 1973) adlı yapıtını Fransızca aslından Sacit Tameroğlu ve H. Vehbi Eralp birlikte dilimize çevirmiş ve kitap, *Evren ve Dönüşümleri* adı ile, *Onur Yayınları* tarafından, Mayıs 1978 tarihinde, Ankara'da, *İlkyaz Basımevi*'nde dizdirilip bastırılmıştır.

İÇİNDEKİLER

7 Çevirenlerin Sunuşu

11 Giriş

14 Birinci Bölüm. — Evrenin Doğuşu

14 Evrenbilim

18 Uzaklık ve Zaman

20 Galaksiler

23 Radyo Gökbilim ve Radyo Galaksiler

25 Kuasarlar

28 Evrenin Genişlemesi

35 Uzay ve Zaman

40 Newton Dinamiği

43 Matematik Uzaylar

50 Özel Rölativite

53 Rölativite ve Gravitasyon

61 Uzayın Evrimi Sorunu

63 Uzayın Eğriliği

66 Genişleme ve Genel Rölativite

70 Durağan Teoriler

72 Sıcaklık

77 Yüksek Sıcaklıklar

81 Tersine Evrim

82 Genişleme ve Sıcaklık

83 Elektronlar ve Pozitronlar

87 Elemanter Parçacıklar

90 Karşı-Madde

94 Gamow Modeli

99 Evrensel Isı Işıması

102 Bir Bilanço

104 Başlangıç Tekilliği Sorunu

105 Karşı-Maddenin Kozmolojileri

110 Madde ile Karşı-Maddenin Ayrılması

117 Birleşmenin Sonucu

119 Maddenin Doğuşu

125 Karşı-Maddenin Araştırılması

126 Durumun Özeti

129 İkinci Bölüm. — Evrenin Dönüşümleri

130 Galaksilerin Doğuşu

138 Kuasarlar
144 Bir Yıldızın Doğuşu
147 Bir Yıldız Varlığını Nasıl Sürdürür?
153 Yıldızların Gelişmesi
157 Süpernovalar, Pulsarlar ve Nötron Yıldızları
165 Elementlerin Başlangıcı
169 Kara Delikler
173 Gezegen Sistemlerinin Başlangıcı
181 Yaşamın Başlangıcı Ve Yeryüzü Atmosferi
187 Ekler

ÇEVİRENLERİN SUNUŞU

EVRENİN ne olduğu, başlangıcı ve gelişimi gibi sorular, her zaman insanların ilgisini çekmiştir: düşünmeye başlar başlamaz, çocuk, büyüklerine bunları sorar: mitolojiler geniş ölçüde bu konuyu işlerler: büyük dinlerde insanların bu merakını gidermek amacını güden birçok şeyler anlatılır: *Mukaddes Kitap* Evrenin yaradılışı ile başlar.

MÖ 4. yüzyılda yaşamış olan Aristoteles, felsefeyi öteki bilgilerden ayırmak isterken, bu bilginin konularından birinin, evrenin nereden geldiği, nereye gittiği sorusu olduğunu söylemişti, onun bu görüşü bugün de geçerlidir. Yalnız ne var ki, hele son zamanlarda bilgilerin büyük bir hızla artması sonucu, bir tek insanın bütün bilgileri kendinde topla-

ması olanak dışı görünmektedir. Her şeyi bilen, geniş sistemler kuran filozof artık tarihe karışmıştır; şimdi bu konularla uğraşanlar daha çok fizikçiler, özellikle teorik fizikçilerdir. Denebilir ki, eski felsefenin programının yarısını, madde felsefesini kurma işini, fizikçiler üzerlerine almışlardır. Hem de gittikçe artan bir doğruluk ve kesinlikle... Gerçi, bilindiği gibi, teoriler, bilim binasının en dayanıksız bölümleridir; bunlardaki değişme daha hızlıdır. Bunun başta gelen nedeni, her teorinin büyük bir genelleme sonucu olması, temele göre yapının çok geniş tutulmasıdır. Bir teorinin geçerli olması için, alanına giren bütün olayları açıklayabilmesi gerekir. Ama bu her zaman gerçekleştirilemez. Uzun yıllar bilginler bazı ışık olaylarını dalga teorisiyle, bazılarını ise parçacık teorisiyle açıklamak zorunda kalmışlardır. Sonra, ileri sürülen bir teorinin, o olayları açıklayabilen tek teori olduğu kanıtlanamaz. Son olarak da, yeni bulunacak olayların o teoriyi çürütmeyeceği önceden kestirilemez. Bu son durumda, birçok çabalar harcandıktan ve düzeltmeler denendikten sonra yine başarıya ulaşılmazsa, eski teori bir yana bırakılır, ve bu teorinin açıkladığı olaylarla birlikte açıklayamadığı yeni olayları da açıklayacak yeni bir teori araştırılır. Ama bu, eski teorinin bütün değerini yitirmesi, geçerliğinin sıfır olması demek değildir. Çoğu kez ilk teori, yenisinin, özel, yaklaşık bir hali olarak geçerliğini korumakta devam eder. Einstein'ın rölativite teorisi karşısında, ışık hızına yakın olan hızlar sözkonusu olduğunda, Newton mekaniği geçerliğini yitirmiş, ama küçük hızlarda yine değerini korumaya devam etmiştir. Kısaca bu konu öyle kolayca çözülecek konulardan değildir, ve insan bilgisinin değeri üzerinde düşünenler, bu ve buna benzer sorunların karmaşıklığını gözden uzak tutmamalıdırlar. İran şairi Şeyh Sadi bir şiirinde:

"Evrenin nasıl başladığını, nasıl sona ereceğini bilmiyoruz;
"Bu eski kitabın başı ve sonu kaybolmuştur."

diyor. Kuşkusuz, bilginin sonu yoktur ve insan her zaman

bilmediği konularla karşı karşıya kalacaktır. Bilgimizin her yerde aynı açıklığı ve doğruluğu koruduğu da söylenemez. Ama ne var ki, kaybolmuş sayfalardan bazıları yavaş yavaş günışığına çıkıyor. Bu çeviride bunun birçok örnekleri görülecektir.

İnsan bilgisine değişmez sınırlar çizmek çok tehlikeli bir iştir. 19. yüzyılda yaşayan Fransız filozofu Auguste Comte, yıldızlara gidemeyeceğimiz için onların hangi maddelerden yapıldıklarını hiç bir vakit bilemeyeceğimizi söylemişti; çok geçmeden tayf analizi bulundu ve yıldızlardan gelen ışınları inceleyerek sanki oraya gitmişiz gibi, bunların hangi maddelerden yapıldıklarını öğrendik; böylece *astrofizik* adıyla yeni bir bilim dalı kuruldu. Kaldı ki, Aya ayak basan astronotlar, Auguste Comte'un savının ilk bölümünü de çürüttüler.

Günümüzde bilimler arasında çok sıkı bir işbirliğinin artan bir ölçüde gerçekleştiğini de görüyoruz. Biraz önce söylendiği gibi, ışık alanında tayfların analizindeki bir ilerleme, yıldızların hangi maddelerden oluştuklarını öğrenmemize yolaçıyor; karbon 14 üzerindeki bazı bilgiler, arkeolojik kalıntıların yaşını büyük bir kesinlikle belirtmemize yardımcı oluyor. Unutmamalı ki, bilimler arasındaki işbirliği yalnız bir tek bilim alanında değil, ilk bakışta birbirleriyle ilgisiz gibi görünen bilimler arasında da kendini gösteriyor; böylece bilimlerin ilerlemesi, temposu gittikçe hızlanan bir senfoninin gidişine benziyor.

Roland Omnès'in *L'Univers et ses métamorphoses* adlı yapıtının çevirisi olan bu kitap, bu düşünce ve duygularla iki farklı disiplinin ortak çabası sonucu, bir felsefe hocası ve bir mekanik hocasının işbirliği ile gerçekleşti. Son yenilikleri de kapsayan bu çevirinin kusursuz olması için elden gelen hiç bir şey esirgenmedi; İstanbul Teknik Üniversitesi profesörlerinden Dr. Murat Dikmen, çeviriyi baştanaşağı okuduğu gibi, bazı güç yerlerin aktarılmasında yardımcı

oldu; Prof. Dr. Erdoğan Şuhubi çeviriyi gözden geçirerek değerli önerilerde bulundu. Burada kendilerine teşekkürü bir borç sayıyoruz.

Bu çeviriyi büyük bir zevk ve heyecanla yaptık; bu duygular konunun çekiciliğinden, birçok şeyleri öğrenmekten ileri geliyordu. Bu zevk ve heyecanı okurlara da aşılayabilirsek, emeklerimiz boşa gitmiş olmayacaktır.

Sacit Tameroğlu

H. Vehbi Eralp

GİRİŞ

BU küçük kitap bir rüyadan uyanıştır. İlk düşünce, evrenin sırlarını, doğuşundaki gizemi gözden geçirmek ve buradan başlayarak bizi şaşırtan şeyleri uzun uzun araştırmak üzere gökyüzünün her cismini, galaksiyi, yıldızı ya da gezegeni gözler önüne sererek bunların derinliğine inmekti. Kısaca hemen hemen her şeyi kucaklayacaktı, çünkü biz gezegenlerin en iyi bilineni üzerinde bulunmaktayız. Birçok fizikçiler için bütün bunların zorunlu olduğunu ve doğa yasalarının önüne geçilmez bir şekilde işlediğini söyleyen köklü inancı, okur ile birlikte yeniden bulmak istiyordum. Buradan, dikkatimiz, bu yasaların kendilerini sorguya çekmeye, seyretmeye ve gözden geçirmeye doğru gidebilecekti. Spi-

noza ile Leibniz'den sonra, bunların biricik ve zorunlu olup olmadıklarını kendi kendimize sormuş olacaktık. Âlemleri düzenledikten sonra, bu yasaların, yaşama nasıl olanak sağladıklarını araştıracaktık. Uzay-zaman ile Evrenin özdeşliğini anlamış olacaktık. Bilgilerimizin bugünkü durumunda evrende gözlenen yasaların biçimindeki ya da orada görünen niceliklerdeki çok küçük değişikliklerin, evrenin gelişme gerçeğini nasıl önleyeceklerini görebilecektik. Bir elektronun kütlesini, ya da bir etkileşimdeki kuvveti biraz değiştirince yıldızın, kristalin ya da yaşamın varolamayacağını anlayacaktık. Öyle sanıyorum ki, bütün bunlardan, gözlerimiz bol bol kamaşmış olarak ve içinde bulunduğumuz bu birliğin bilincine varrarak çıkmış olacaktık.

Böyle bir kitabı yazmak için benim, olduğumdan daha bilgin, daha çok filozof ve hele de daha çok ozan olmam gerekiyordu. Bu yüzden, evriminin anladığımızı sandığımız biçimindeki başlıca aşamalarını gözden geçirerek, evrende fizik yasalarının nasıl işlediklerini göstermek gibi çok daha alçakgönüllü bir tasarı ile yetindim. Burada anlatılan bazı düşüncelerin ve teorilerin gelecekte değişmeleri ya da olduğu gibi bırakılmaları, ve her halde ölçülmez derecede zenginleşmeleri olanaklıdır, hatta olasıdır. Ama esas olan bu değildir, önemli olan, güzelliği selâmlamaktır.

Bu sayfaların açık ve herkesin anlayacağı gibi olmalarını isterdim. Bu, olanak dışı değildir: iyi bir sadeleştirme ve kolaylaştırma çalışması, özü denklemlerle dolu bir makaleden çok daha iyi aktarmaya çoğu kez olanak sağlar. Bu denklemlere gelince, kısaca söylenirse, ya okur bunlardan bir şey anlamaz, ya da temel fikirleri anlamışsa bunları kendisi de yazabilir. Başarıya ulaşıp ulaşmadığımı bilmiyorum. Teknik makaleler yazmakla yoğrulan bir kalem, bu alışkanlığında üzücü bir kuruluk saklar ve kuşkusuz daha açık olmak olanak dışı değildir. Ne olursa olsun, ister gökbilimsel gözlemler, ister fiziğin verileri sözkonusu olsun, her-

kesin bilmediği ve vazgeçilmez görünen her şeyi sıra ile anlatmaya çalıştım.

Kitapta iki bölüm vardır. Birincisi Evrenin başlangıcına, ikincisi galaksilerden yıldızlara giden başlıca cisimleri kuşbakışı gözden geçirmeye ayrılmıştır. Açıktır ki, bu ikinci bölüm üzerindeki bilgilerimiz çok daha sağlam ve kesindir. Gökbilime ve gökfiziğine ayrılmış çok sayıda pek iyi yapıtlar bulunmakla birlikte, öyle sanıyorum ki bu kitap, belki de güç sayıldığı için, genel olarak bir yana bırakılan konulara değinmektedir. Bu nokta onu yazmış olmayı haklı gösterebilir, ve daha betimleyici kitapların genellikle süsü olan gözalıcı resimleri bulundurmayışını açıklayabilir.

Burada pek az özel ad anılmaktadır. Sözü edilenler de belirtmek, adlandırmak ya da başvurmak üzere dolaylı olarak verilmiştir. Bilimin, taşları imzalanmamış bir katedral olmasında da bir başka güzellik vardır.

BİRİNCİ BÖLÜM

EVRENİN DOĞUŞU

"Başlangıçta eylem vardı."
Gœthe, *Faust*.

EVRENBİLİM

Evrenbilim, Evreni kendi bütünlüğü içinde ele alan gökbilimin bir dalıdır. Öyleyse bu bilim, galaksileri saymak, çeşitleri ve örneklerine göre onları sınıflara ayırmak, boyutlarını, uzaklıklarını ve kütlelerini hesaplamak amacına yönelik, gözleme dayanan bir öğretim dalıdır. Bununla birlikte, evrenbilim, çok uzaklarda bulunan ve galaksi olmayan gök cisimlerini de inceler. Bunun için geleneksel teleskoplar yardımı ile yapılan optik gözlemleri olduğu kadar, radyo teleskopların verdiği bilgileri de kullanır. Çok yakın bir gelecekte atmosferin dışına füzeler yardımı ile yerleştirilen gözlem uydularının, yıldızları ve galaksileri, onlardan gelen X ve mor-ötesi ışınlar yardımı ile gözlememize olanak

sağlayarak, bize tamamıyla yeni bilgiler vermelerini bekleyebiliriz; kaldı kî, bu, daha şimdiden çok dikkate değer olan ilk sonuçlarını vermiştir.

Bu sonuçlar içersinde iki tanesi özel bir ilgiye değer. Birincisi, 1929'da ilk kez Hubble tarafından gözlenmiş olan Evrenin genişlemesidir. Gerçekten galaksilerin, Galaksimizden olan uzaklıkları ile orantılı bir hızla sistemli bir şekilde, bizden uzaklaştıkları saptanmıştır. Böylece uzay her yönde genişler görünmektedir. Kayda değer ikinci görüngü, daha sonra, 1965 yılında bulunmuştur. Uzayı her taraftan, bir biçimde kuşatan çok düşük frekanslı radyo ışınları yayan bir ışıma vardır. Bu ışımanın dalga uzunluğu bakımından dağılışı, ısı ışımasınınkinin dağılışına benzemektedir.

Anımsatalım ki, ısı ışıma, ışıtılmış bir yüzeyden yayılan kırmızı ışıktır. Evreni dolduran bu ışıma, son derece düşük bir sıcaklıkta olup, $-270°C$ ya da mutlak sıcaklığı 3 derecedir. Bu, o kadar düşük bir sıcaklıktır ki, ışıma radyo dalgaları bölgesinde yer alır. Şimdi, bu kadar yoğun ve bu kadar soğuk bir ışımanın başlangıcında evreni şu anda oluşturan öğelerden hiç birinin var olabileceğini düşünemeyiz. Bu da bizi, bu soğuk ışımanın meydana gelişini, zamanımızdan çok daha eski bir dönemde aramaya götürmektedir.

Bu iki görüngü önemlidir, çünkü bunlar Evreni, yalnızca uzaydaki genişlemesi içinde değil, tarihi içinde de gözönünde bulundurmaya bizi zorlar. Ama bu tarihi nasıl bileceğiz? Zira, açıktır ki, bu tarih, insanlığın yaşamı ile karşılaştırılamayacak kadar uzun dönemleri kapsamaktadır. Burada ışık hızının belirli bir değerinin bulunması, tarih hakkındaki bu sorunun bir ilk yanıtını oluşturur. Bunun sonucu olarak, uzak bir galaksiden gelen ışık, bize ulaşmadan önce belli bir zaman geçirmiştir; bizim gözlediğimiz, galaksinin şimdiki hali değil, ondan bize şu anda gelen ışığın, kaynağından çıktığı andaki halidir. Çıkış zamanı ile gözleme zamanı arasındaki bu farklar çok büyük değerlere, iki milyar yıla kadar

varan değerlere ulaşabilir. Oyleyse biz, uzun zamandan beri Evrenin uzak kısımlarının geçmiş bir dönemdeki durumlarını gözlemekteyiz.

Ne yazık ki, galaksilerin gözlenmesi, zaman içersinde istediğimiz kadar geriye gitmemize olanak sağlamıyor. Yerkabuğunu oluşturan kayalardaki radyoaktivite kalıntılarının incelenmesi, yerkürenin dört milyar yıldan daha yaşlı olduğunu göstermektedir. Yıldızların oluşum teorisi, Güneşin yaşı için de buna yakın değerler vermektedir. Ötekilerinden ayırdetmek için, özel adın büyük harfine hak kazanmış olan bizim galaksimize gelince, yani Galaksi, yıldızların gelişiminin ya da onların hareketlerinin gelişiminin teorik incelenmesine dayanan ve birbirinden bağımsız olan birçok kanıtların gösterdiği gibi, kuşkusuz on milyar yıldan daha yaşlıdır. Bu yaşlar, doğrudan doğruya, gözlemin ulaşmaya olanak verdiği yaşlardan daha büyüktür. Bir galaksinin, uzaklığı ölçüsünde daha zor ayırdedilebildiği ve hakkında toplanabilecek bilgilerin daha az olduğu düşünülürse, bu yaş tahmini o oranda isabetsiz olur. Toparlarsak, Evrenin gelişmesini yakalayabilmek için gözlemin sınırlarını aşmak, gözlemin doğrudan doğruya ulaşabileceği aşamalardan önce neyin gelebileceğini kestirmek, yani Evrenin eski tarihinin ne olduğunu bilmek gerekir.

Ama nasıl? Önsel olarak böyle bir soru, bilimin alanından çok metafiziğin alanına ya da istenirse kurgubilim alanına girer görünmektedir. Bu, hayalgücünün denetimsiz, başıboş dolaşabileceği bir alan değil midir? Platon ya da yaratılış kitabının yazarı, bu gizeme yanaşmakta bizim kadar iyi bir durumda değil miydi?

Gerçekte, fizikteki bilgilerimiz sayesinde, eskilere göre belli bir üstünlüğümüz vardır. Yüzlerce yıldan beri insanlık, doğa yasalarını anlamada aklı durduran ilerlemeler sağlamıştır. Belki de bu son yüzyıl boyunca, ondan önce gelen yüzyıllardakinden daha fazla buluşlar yapmıştır. Çok küçük-

ler alanında atomları yöneten yasaları şimdi ayrıntıları ile anlıyoruz, ve elemanter parçacıkları yöneten yasalar hakkında şimdiden çok şeyler biliyoruz. Çok büyükler alanında pek güçlü bir teoriye, genel rölativite teorisine sahibiz. İnsanlık tarihinde ilk kez olarak Evreni hayalgücü ile değil, bilgilerimiz yardımı ile yapabildiğimiz kesin bir tümevarımla anlamayı denemek, artık akıl-dışı görünmüyor. Ne olursa olsun, bu denemeye girişmek çabaya değer; başarı, bilgilerimizin doğruyu söylediğinin güzel bir kanıtı olacak, başarısızlık ise araştırma çabasının hangi noktalara yönelmesi gerektiğini su yüzüne çıkarabilecektir.

Evrenbilim, böylece, hem bir bilimsel bilim dalı, hem de bilimin bir sınanması olabilir. Ama, araştırmanın gözetmesi gereken kurallar çok sıkıdır: onun, önsel olarak, bilgilerinin Evrenin tarihini anlamada yeterli olduğunu varsayması ve zorunluluk olmadıkça laboratuvarda bulunan fizik yasalarını değiştirmekten kaçınması gerekir. Evrenbilimin bazı yeni çalışmaları bu çerçeveye girmemektedir ve bu yüzden ilerde bu çalışmalar, ya pek az ya da hiç gözönüne alınmayacaklardır. Bu husus, adı geçen bu yasaların kabul edilmez oldukları anlamına gelmez. Fizik yasalarının, laboratuvarda yakalanamayan ama Evrende önemli olan herhangi bir değişikliğini kabul etmek için bilgilerimizin demirden korsesini çözmek, keyfiliği gereğinden fazla artırır.

Öyleyse burada, Evrenin gelişimi sorunu, fizikte daha önce elde edilen bilgilerin çerçevesinden çıkmaksızın incelenecektir. Şimdi, çözümlememizin doyurucu olup olmadığını nasıl bileceğimizi kendi kendimize sormamız gerekir. En iyi ölçü şöyle görünüyor: gözlemin bütün önemli ayırdedici niteliklerini yeniden meydana getirebilmeyi ve bunu olabildiği kadar ölçülebilir biçimde başarmayı üzerimize almak. Maddenin varlığı, galaksiler içersindeki yapı, galaksi olmayan cisimlerin varlığı bu türdendir. Görüleceği gibi bu program bugün artık gerçekleşemez gibi görünmüyor, ışığın hızı ve

atom miktarları gibi laboratuvarda ölçülen, ya da Newton'un çekim sabiti gibi güneş sisteminin gözleminden elde edilen değerlerden hareketle, Evrenin başlıca özelliklerini yaklaşık olarak hesaplamak düşünülebilir. Burada Evrenin genişleme hızının değeri ya da istenirse, onun bugünkü yaşı gibi, doğrudan doğruya gözlemden çıkarılması gereken tek bir sayının bulunması da sözkonusudur.

UZAKLIK VE ZAMAN

Galaksilerin ve Evrenin betimlemesine başlamadan önce, bazı birimleri ve bunların nasıl kullanılacağını belirtmek yararlı olacaktır. Santimetre ya da kilometre, alışık olduğumuz büyüklüklere kolayca bağlanan uzaklıklardır. 1.000 kilometre bize otomobil ile uzak bir yolculuğu ya da uçakla kısa bir uçuşu anımsatır. Buna karşılık ışığın bir saniyede aştığı 300.000 kilometre, Aya yaklaşmış ya da ayak basmış ve böylece bu mertebede bir uzaklığı aşmış olan az sayıda kozmonotlar dışında, düşüncemizde pek az hayaller uyandırır. Böyle dayanak noktaları olmadan, sayılar hakkında pek seçik bir tasarım elde edilemez. Herhangi bir kimse başka bir atomdan üç defa büyük bir atomun ne olduğunu pekâlâ tasarlayabilir. Ama hiç kimse bir gram hidrojeni oluşturan altı yüzbin milyar kere milyar atomu açıkça canlandıramaz. Gökbilimci olsun ya da olmasın, bizi bazı galaksilerden ayıran bir milyar ışık yılının gösterdiği (yaklaşık olarak bir milyar kere milyar kere milyar kilometre) uzaklığı hiç kimse tasarlayamaz. Bazan atomun boyutlarından Evrenin boyutlarına doğrudan doğruya geçtiğimiz olacaktır; bu tür sayıları ve oranları açıkça kavramayı denemek, gerçekleşemeyecek bir şeydir.

Bunlardan birini unutmak tehlikesi ile karşılaşarak, boyuna milyar kere milyar kere milyar...'dan sözetmemek için çok büyük ve çok küçük sayıları yazmanın bir yolu da, on

sayısının kuvvetlerini kullanarak, çok elverişli bir imlemeden yararlanmaktır; bunu kısaca şöyle açıklayabiliriz: 3.240.000.000.000.000.000.000 sayısını basit bir biçimde yazmak isteyelim. Kuşkusuz üçbin ikiyüz kırk milyar kere milyar diyebiliriz; ama bu pek anlaşılır bir şey değildir. O zaman ilk rakamdan sonra bir virgül konur ki, bu, tümüyle açık olan 3,24 sayısını verir. Böylece konulan virgülden sonra gelen rakamlar sayılır, bunlar burada yirmibir tanedir. Şimdi on, yüz, bin, onbin gibi sayılar, sıfırlarının sayısına göre yeni bir biçimde yazılır: 100, 10^2'dir; 1.000. 10^3'tür; 10.000, 10^4 ... vb.. 1.000.000.000.000.000 sayısı 10^{15} olacaktır. İnsana ters gelen ondalık biçimi ile daha yukarda verilen sayı şimdi $3{,}24 \times 10^{21}$ şeklinde yazılır ve şöyle söylenir: "Üç virgül yirmidört, çarpı, on üstü yirmi bir".

Çok küçük sayılar için de aynı işlem uygulanır: 0,1, 10^{-1} ile gösterilirse, 0,01, 10^{-2} ile gösterilir; 0,001, 10^{-3} ile gösterilir ... vb.. 0,000.000.023 şöyle okunacaktır. $2{,}3 \times 10^{-8}$ (iki virgül üç, çarpı, on üstü eksi sekiz).

Büyüklük mertebesi demekle bir miktarın kabaca 0,1 ile 10 arasında bir sayı ile ölçüldüğü bir birim anlaşıldığını anımsatarak, şimdi bazı önemli miktarların büyüklük mertebesini belirtelim. Böylece, bir metre: bir insanın, bir köpeğin, bir filin, bir iri farenin büyüklük mertebesidir. Ama bir karıncanın ya da bir dağın büyüklük mertebesi değildir. Yüz yıl bir kuşağın ya da bir insan yaşamının büyüklük mertebesi olabilir, ama bir yemeğin ya da jeolojik bir devrin büyüklük mertebesi olamaz.

Gökbilimde uzaklık ölçüsü olarak sık sık ışık-yılı birimi kullanılır. Işık bir saniyede 300.000 kilometre (3×10^5 km) yolaldığına göre, ışık-yılı, ışığın bir yılda aldığı yoldur, bu da 10^{13} km ya da 10^{18} cm mertebesindedir. Atom içindeki uzaklıklarla ilişki kurabilmek için gökbilimsel uzaklıkların büyüklük mertebesini hem ışık-yılı olarak hem santimetre olarak verelim:

GÖKBİLİMSEL UZAKLIKLAR:

İki galaksi arasında ortalama uzaklık:

10^9 (bir milyon) ışık-yılı	10^{24} cm

Bir galaksimin yarıçapı:

3×10^4 (otuzbin) ışık-yılı	3×10^{28} cm

Bir yıldızın yarıçapı (Güneş):

696.000 km ya da	$0{,}696 \times 10^{11}$ cm

Yerkürenin yarıçapı (yaklaşık):

6.300 km ya da	$0{,}63 \times 10^9$ cm

İki yıldız arasında ortalama uzaklık:

bir ışık-yılı	10^{18} cm

Merdivenin öteki ucuna, âdet olduğu üzere angströmle (10^{-8} cm) ölçülen atomların yarıçaplarını ve fermi (10^{-13} cm) ile ölçülen çekirdeklerin yarıçaplarını katabiliriz.

Zamanlar merdiveninde de, Evrenle atom arasında görülen aynı aykırılık vardır. Gerçekten gök cisimlerinin yaşı, bir ile oniki milyar yıl arasındadır, oysa ki elemanter bir parçacık ancak 10^{-23} saniye yaşayabilir.

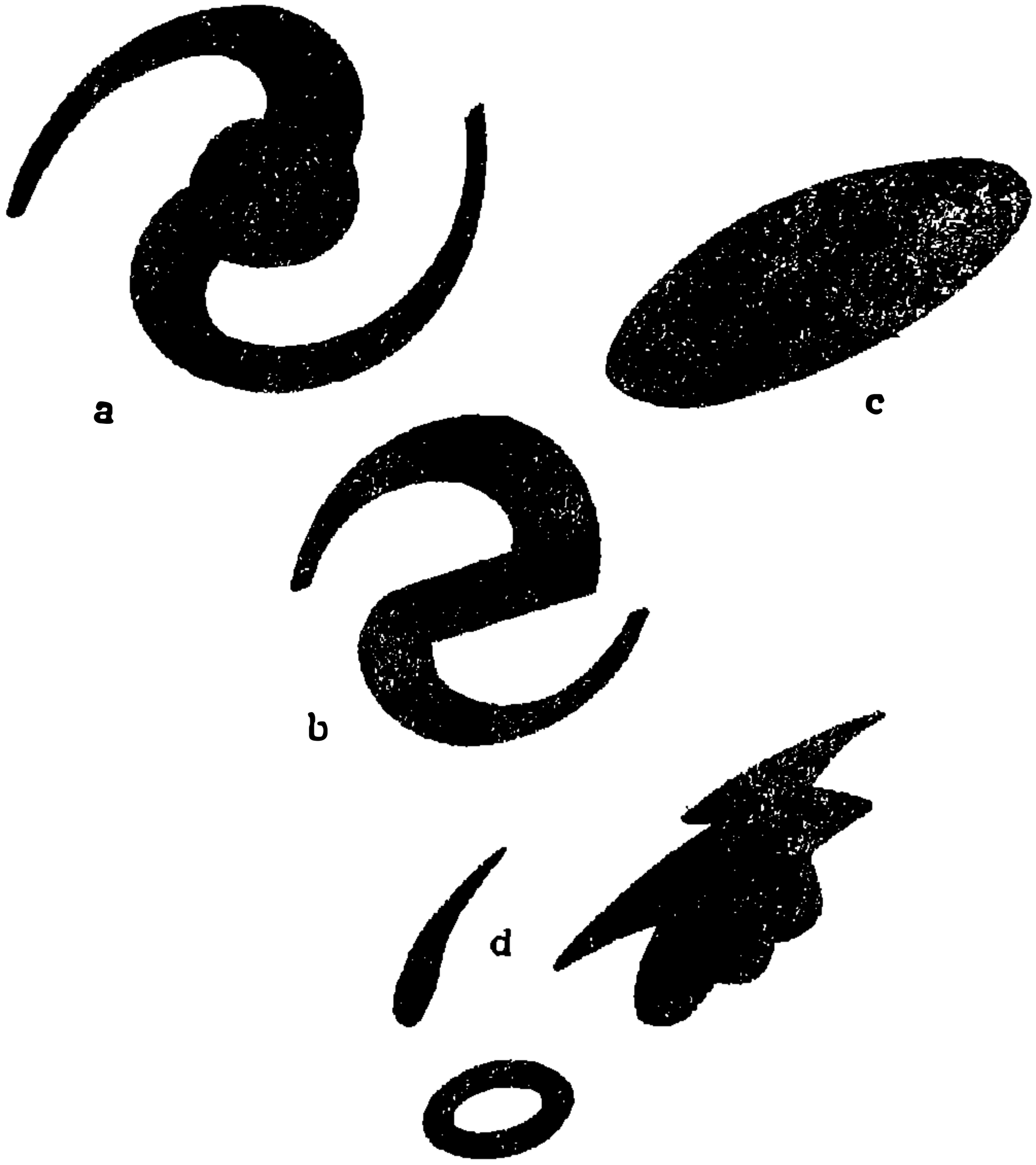
GALAKSİLER

Maddenin uzayda dağılış biçimi, düzgün bir dağılış olmaktan şaşılacak derecede farklıdır. Uzaktan uzağa kütleleri pek önemli olan yıldızlarla (örneğin Güneş için 2×10^{33} gr) bunların arasında çok büyük karanlık boşluklar görürüz. Maddenin optik özellikleri hakkındaki bilgimiz, bu yıldızlar arası bölgenin hemen hemen baştanaşağı boş olduğunu söylememize olanak sağlıyor. Gerçekten buralarda önemli miktarda atomlar, tozlar ya da parçacıklar bulunsaydı, uzak yıldızlardan gelen ve uzun mesafeler aşan ışık ya da radyo dalgaları bunların etkisi altında kalacaktı. Örneğin, Güneş gibi normal bir yıldızın yarıçapı 10^{11} cm mertebesindedir, oysa ki Galaksimizde bulunan yıldızlar arasındaki ortalama uzaklık 10^{18} cm'den fazladır.

Heterojenlik, yani düzgün dağılmama burada kalmıyor.

[ŞEKİL — 1]

ÇOK ŞEMATİK BAZI GALAKSİ BİÇİMLERİ



a) Sarmal galaksi, b) Çubuklu sarmal, c) Eliptik galaksi, d) Düzensiz birkaç galaksi.

Çok uzaklarda bulunan cisimlerin gözlenmesi, yıldızların dağılışının çok düzenli olduğunu açığa vurmaktadır. Bu dağılışta uzaklığı, çapına göre aşağıyukarı yüzbin kere daha büyük olan galaksiler birarada gruplanırlar.

Galaksiler çeşitli biçimlerde olabilmektedir: eliptik (sanki bir rugbi topu biçiminde) merceksi (bir merceğe benzer), düzensiz (iyi tanımlanamayan ve çoğu bir bulutu anımsatacak biçimde). Çok sayıda galaksiler sarmal biçimindedirler:

bunlar bir diskten ibarettirler, ya da başka bir deyimle, yoğun biçimde dağılmış çok sayıda yıldızı kapsayan merkezsel bir mercek biçimindedirler (tip olarak, 10^{11} yıldız ve yarıçapı 10^{22} cm olan bir disk). Bu diske kollar bağlı olup bunlar galaksiye kanatlı bir disk ya da bir burgu görünüşü verirler. Yapıları aynı olan bir sürü galaksilerin biçimleri ise oldukça çeşitlidir. Bundan başka, diskte ya da kollarda bulunan yıldızlardan daha seyrek olarak dağılmış başka yıldızların varlığı da saptanmıştır. Bu yıldızlar galaksi çevresinde, çapı yaklaşık olarak diskin çapında olan ve hale denilen bir küre içinde düzgün bir şekilde yayılırlar. Yıldızların yaşı hakkında bir fikir edinmek olanağı vardır, ve haledeki yıldızların, ortalama olarak, diskte ya da kollardaki yıldızlardan daha yaşlı olduklarını görmek çok dikkate değer bir olgudur. En eskilerin yaşı, 12 milyar yıl dolayında yer alır görünüyor. Bu, değerli bir bilgidir ve galaksilerin oluşumunun ve gelişmesinin ne türlü olduğunu anlamak için bunu gözönünde tutmak gerekecektir.

Bir galaksideki yıldızları sayarak, daha doğrusu onun yayınladığı ışınları çözümleyerek, toplam kitle hakkında yaklaşık bir fikir edinilebilir. $1{,}99 \times 10^{33}$ gr olan Güneş kütlesini temel alırsak, büyük galaksilerin 10^{10} ile 10^{11} Güneş kütlesinde oldukları görülür. Sonunda bu, 2×10^{12}'ye kadar gider. Kütlesi 10^{6} Güneş kütlesi olan bazı küçük galaksi örneklerine de rastlanmıştır.

Çeşitli teknikler yardımı ile galaksilerin yaşı hakkında bazı bilgiler elde edilebilir. Bu teknikler yeteri kadar farklı ilkelere dayandıklarından, uzlaşmaları halinde, onların oldukça doğru değerlendirmelere ulaştıklarını varsayabiliriz. Bu yöntemlerden bazıları, onların ışık tayfları teorisinden ve gözleminden hareket ederek, en eski yıldızların yaşını belirtmekten ibarettir. Galaksilerdeki bazı yıldız kümelerinin hareketi başka yöntemlerle incelenir. Bizim galaksimiz için olduğu kadar, en yakın galaksiler için de, böylece, dikkate de-

ğer derecede benzer sonuçlara ulaşılır. Olan şudur ki, şimdiye kadar yapılan bütün ölçüler, bütün galaksilerin aynı yaşta, aşağıyukarı, oniki milyar yıllık olduğunu bildiren olayla uzlaşır gibidir; bu da, Evrenin gelişimi üzerinde çok değerli bir bilgi oluşturur.

Şunu da belirtelim ki, galaksiler birbirlerinden büsbütün bağımsız görünmüyorlar, belki de çoğu zaman birkaç yüz galaksiyi kuşatabilen kümeler halindedirler.

RADYO GÖKBİLİM VE RADYO GALAKSİLER

Gök cisimlerini incelemek için, yirmi yıldanberi, görünen ışık yerine, radyo-elektrik dalgalarına duyarlı olan teleskoplar kullanılmaktadır. Burada şaşılacak bir şey yoktur, çünkü radyo dalgaları ile birlikte ışık bir titreşim olayıdır ve bunun frekansı, çok büyük ölçüde değişebilir, ama çeşitli frekanslar arasında, temelde, fiziksel farklar yoktur.

Görünen ışık, yaşamımızda ayrıcalıklı bir rol oynar; çünkü göz, bu tür ışığa karşı duyarlıdır. Gerçekte, bilinen bütün optik titreşimlerin alanı gözönünde tutulursa, görünen ışığın, bunun ancak çok küçük bir bölümünü oluşturduğu ortaya çıkar. Gözün, bu özel frekans şeridine duyarlı olmasının, fizikle bağlantısı olan bir nedenden ileri geldiğini belirtmek ilginçtir. Gerçekte Güneşten aldığımız ışık, kızıl-ötesi ve görünür ışıktan mor-ötesine kadar, olabilecek bütün frekansları, alçak frekanslı radyo dalgalarını içerir. Bununla birlikte, mor-ötesi ışıma, yüksek atmosferdeki ozon tarafından durdurulur, kızıl-ötesi ışınlar ise havanın su buharı tarafından durdurulur. Buna göre atmosferin özellikleri şu sonucu doğurur: yeryüzünün görünüşü Güneşin bütün ışıma alanı ile aydınlanacak yerde, yalnızca mor-ötesi ile kızıl-ötesi arasında kalan ışıma şeridi ile aydınlanır. Bu çevredeki koşullar ile gelişen omurgalıların gözü buna o kadar şaşılacak derecede uymuş ve dış dünyayı görmek için elde bulunan

ışıktan o kadar iyi yararlanmıştır ki, genel olarak görme duyusu en incelmiş duyu sayılır.

Böylece atmosferin, bütün ışımalara saydam olmadığı ortaya çıkar. Bununla birlikte, görünen ışınlar, atmosferi delebilen tek ışımalar değildir; dalga uzunlukları yirmi santimetreye yakın olan bazı radyo dalgalarının geçtiği bir başka frekans "pencere"si daha vardır. İkinci Dünya Savaşından sonra, radar uygulamaları için bu dalga uzunluğundaki radyo dalgaları teknolojisi büyük ölçüde geliştirildiğinden, radyo teleskoplar denilen yeni bir tip teleskop yapmak olanağına kavuşulmuştur. Bunlar, gökyüzünü, mor ile kızıl arasındaki ışıklar ile görecek yerde, radyo dalgaları ile görürler.

Radyo teleskoplar, ilk olarak, en kuvvetli radyo verici kaynaklarını ayırdederler ki bunların arasında kuşkusuz Güneş başta gelir. Galaksimizin içinde ilginç başka radyo kaynakları da vardır; bunları tartışmayacağız, çünkü konumuzla bunların doğrudan doğruya bir ilişkisi yoktur. Galaksiler de, genel olarak, zayıf bir radyo verici kaynaklarıdır. Ama sarmal ya da düzensiz galaksiler, ötekilerden daha kuvvetli vericilerdir.

Radyo gökbilim, evrenbilimde en önemli buluşlardan bazılarını gerçekleştirmiştir. Yapılan ilk buluşlardan biri, radyo ışıması ortalamanın çok üstünde olan birçok galaksinin varlığının saptanması olmuştur ve bunlara radyo galaksiler adı verilmiştir. Bu radyo galaksilerin görünür ışıkta gözlendikleri zaman bile, en parlak gök cisimleri arasında bulunması dikkate değer; o kadar ki, büyük bir olasılıkla, bir kümenin en parlak galaksisi bir radyo galaksisidir. Toplam olarak bu galaksiler, görünsün ya da görünmesin, bütün ışıklı frekans bölgelerinde olağan bir galaksiden çok fazla ışık saçtıklarından, radyo galaksilerin, ışımalarında, olağan galaksilerden bin kat fazla enerji harcayabilmelerinde şaşılacak bir şey yoktur.

Buna karşılık bir giz olarak görülebilen şey, ışık yayma-

larında birbirlerine o kadar benzeyen adsız galaksiler topluluğu ile radyo galaksiler arasında böyle bir ayırımı yaratan mekanizmadır. Ama garip kuasarlar daha da çok şaşırtıcı gök cisimleridir.

KUASARLAR

Radyo galaksilerin kimliklerini saptamak için, bir radyo teleskop yardımıyla bir radyo kaynağının yeri bulunduktan sonra, çok güçlü bir teleskop kullanarak bu noktada görünür hangi gök cisminin yer aldığı araştırılır. Böylece, yerine göre, yakalanan kaynağın, galaksimizin bir bulutsusu, dikkate değer bir yıldızı ya da bir radyo galaksisi ile çakıştığı bulunabilir. Aynı cismin, yayınladığı radyo ışınlarının verdiği görüntü ile, ışık yayınının verdiği görüntünün karşılaştırılmasından, bunun yapısı hakkında değerli bilgiler elde edilir. Bir radyo galaksisinin görünen biçiminden sağlanan başka bir yarar da, onu bizden ayıran uzaklığı bilme olanağıdır.

Altmış yıllarında, radyo teleskobun, radyo galaksiler olarak bize tanıttığı yeni gök cisimleri bulundu. Şimdi, bir teleskop yardımı ile, bu cisme karşılık olan görünür galaksi arandığında, özel bir biçimde eliptik, sarmal ya da düzensiz, yer kaplayan bir cisim değil, belki de bir yıldızın görüntüsünü andıran bir ışık noktasına benzer bir cisim bularak şaşırıyorduk. Böylece, bugün ikiyüzden fazlası sayılmış olan bu türlü gök cisimlerinden, pek çok sayıda bulundu. Onların optik tayflarının incelenmesi ile uzaklıkları belirtildiği zaman, daima bizden uzaklaştıkları görülmekte ve şimdiye kadar bulunan cisimlerin en uzakta olanları, bu yeni tip cisimler arasında yer almaktadır.*

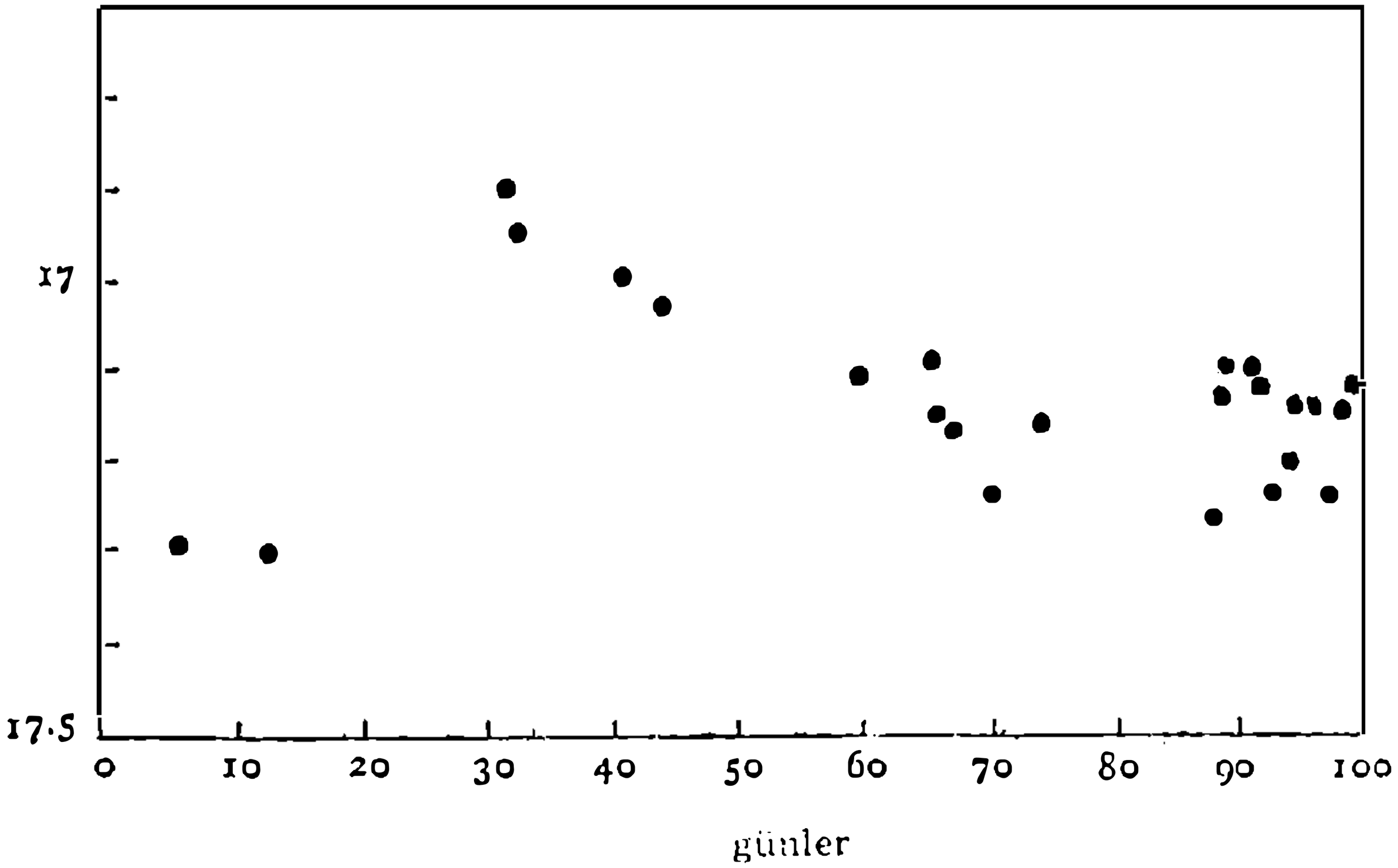
Bunların uzaklıklarını bildiğimize ve onlardan görünür

* Bununla birlikte, kuasarların, bulundukları sanılan büyük uzaklıkların tartışılan bir konu olduklarını belirtelim.

ışık biçiminde olduğu kadar, radyo ışıması biçiminde aldığımız ışımaların miktarını da ölçebildiğimize göre, bu cisimlerin her saniyede verdikleri enerji miktarını hesaplamak olanaklıdır. Varılan sonuç şaşırtıcıdır: Bulunan ışıma, olağan bir galaksininkinin bin katı ile yüzbin katı arasındadır.

[ŞEKİL — 2]

BİR KUASARIN AYDINLATMA MİKTARINDAKİ DEĞİŞİKLİKLER



Kinman ile Goldsmith tarafından gözlenen 3C 345 kuasarının görünen şiddetinde zamanın fonksiyonu olarak saptanan değişiklikler (bu görünen şiddet, aydınlatma miktarının logaritması ile orantılıdır). Yirmi günlük bir sürede aydınlatma miktarında %100 bir değişme saptanmıştır.

Bu gizemli varlıklara "*quasistellar sources*" denir, bu İngilizce deyim, yıldızımsı kaynaklar (radyo kaynakları) anlamına gelir, bu da bunların, tıpkı bir yıldız gibi, bir noktadan ayırdedilemediklerini gösterir, yine bunlara kısaca k.s.s. ya da k.s.o. (*Quasistellar objects*) ya da *kuasar* adı verilir.

Kuasarların, gerçekten küçük olduklarının dikkate değer bir kanıtı da, onların yayınladıkları ışığın, oldukça küçük bir sürede, farkına varılır derecede değişebilmesi olayıdır. Kuasarların ışık yayınlarının, iki katına çıktığı ya da yarı yarıya

azaldığı görülür, bu da bir haftadan bir aya kadar uzayan bir süre içinde gelişigüzel meydana gelir. Bu ise, zorunlu olarak, ışık kaynağının çok büyük olmaması sonucunu doğurur. Gerçekten de fiziğin temel yasalarından biri, hiç bir görüngünün ışıktan daha hızlı yayılamayacağını söyler. Öyleyse bir ışık kaynağının yayınında kısa bir sürede gözle görülür bir artma ya da azalma oluyorsa, bu ancak sınırlı bir bölgeyi etkileyebilir. Bir ay içersinde aydınlatma miktarında önemli bir değişikliğin gözlenmesi, bunun, bir ışık-ayından daha küçük bir bölgede meydana gelmiş olması gereken bir olayın varlığına işaret ettiğini söyleyebiliriz. Gerçekten de bu görüngü ister bir patlama, ister bir madde kaybolması olsun, ne olursa olsun, ışığın aynı sürede alabileceği uzaklıktan fazla bir uzaklığı etkileyemez.

Bir kuasarın yayınının bir ayda önemli ölçüde değiştiği görülürse, bu olay, onun yarıçapının bir ışık-ayından büyük olmamasını gerektirir. Bu süre ise 10^{17} cm'ye karşılıktır ve olağan bir galaksiden yüzbin kere daha küçüktür. Kuasarların karşımıza çıkardığı büyüleyici sorunun ne olduğu görülüyor: bunlar, yüzbin kere daha küçük bir yarıçapları olduğu halde, bir galaksiden yüzbin kere daha çok ışık saçarlar. Bu gizemli cisimlerde hangi fiziksel mekanizmanın iş gördüğünün bulunması gökbilimin, insanı en çok saran sorunlarından birisidir.

Aşağıyukarı on yıldan beri kuasarlar çok çeşitli gözlemlerin konusu olmuştur ve bize verdiği en dikkate değer sonuçlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz.

— Bir nokta gibi görünmelerine karşın, kuasarlar, çok çeşitli radyo dalgaları yayınlayan kaynaklardır. Bununla birlikte bu yayınlarda bazı düzenli durumlara da raslanmaktadır. Küçük ve şiddetli bir radyo dalgası yayınının varlığının, hemen hemen, her zaman görülmesi bunlardan biridir, bir yayın, bazı hallerde yakalanabilen tek bilgi kaynağı olmaktadır.

— Radyo dalgalarının yayınından sorumlu mekanizmanın ne olduğu gösterilebilmiştir: bu yayın, oldukça büyük bir manyetik alanda dönen, serbest yükler (büyük bir olasılıkla elektronlar) tarafından meydana getirilmektedir.

— Optik tayfın çözümlenmesi sayesinde, hiç değilse kaynağın küçük bir bölümünün sıcaklığının 30.000 derece mertebesinde olduğu saptanabilmiştir (Güneşin yüzeyinin 6.000 dereceye yakın olduğunu anımsatalım). Bu yüksek sıcaklık, kaynağın genel olarak mavi görünüşüyle uyum halindedir. Gerçekten de, bilindiği gibi, ışık kaynakları soğuk oldukları ölçüde kırmızı, sıcak oldukları ölçüde mavidirler.

Kuasarlar, optik küçüklükleri ve çok büyük şiddetleri ile, temel bir sorunu ortaya koymaktadırlar. Alışmamış olanlar için daha az açık olan, ama aynı derecede güç başka sorunlar, radyo yayınının gerektirdiği çok sayıda hızlı elektronların ve büyük manyetik alanın varlığından doğmaktadır. Son olarak, yayınındaki şiddetli dalgalanmalar son bir ince sorunu ortaya çıkarıyor.

Uzaklıkları ile, aydınlatma miktarları ile kuasarlar, kuşkusuz yıldızların yanından daha çok, galaksilerin yanına yakın bir yere konması gereken gök cisimleridir. Galaksilerin başlangıcını ve tarihini anlamaya çalıştığımız günümüzde, kuasarlar gizeminin bir açıklamasını elde etmeyi bekleyemeyiz. Bu, evrenbilimin dönemeç taşlarından birisidir.

EVRENİN GENİŞLEMESİ

Söylediğimiz gibi, Evren genişlemektedir, yani bütün galaksiler sistemli olarak bizimkinden uzaklaşıyor. Bu sonuç o kadar önemlidir ki, bunun nasıl ortaya konulabildiğini göstermek yararlı olacaktır.

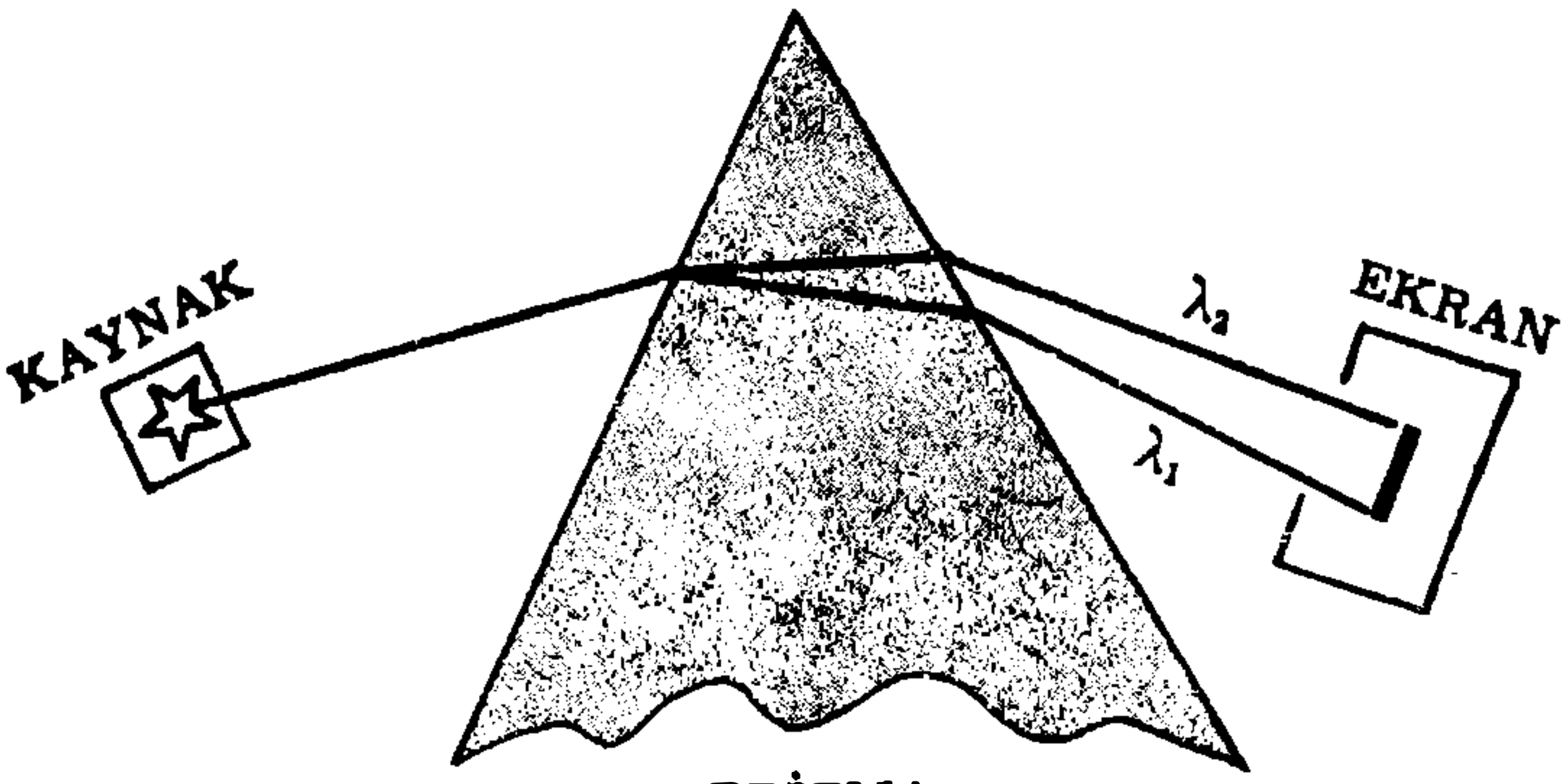
Oldukça yakın galaksilerin uzaklığının belirtilebilmesi, onların içinde iyi bilinen çeşitli bazı örnek yıldızların (*Céphéïd*'ler) tanınması yolu ile olur. Bu yıldızlar için değişme

devrelerinin, onların kendi öz aydınlatma miktarı ile belli olduğu bilinmektedir. Bu uzaklıkların, elverişli bir şekilde bulunabildiğini söylememize olanak sağlayan başka yöntemler de vardır ki, bunların sonuçları, oldukça iyi sayılabilecek derecede diğer yöntemlerin sonuçları ile çakışırlar.

Galaksilerin hızlarını, bunların görünür ışıktaki ışımalarını çözümleyerek de belirlemek olanaklıdır. Bu yöntemin ilkesini anlamak için, atomlar tarafından oluşturulan ışığın yayınını gözönünde bulundurmak gerekir.

[ŞEKİL — 3]

SPEKTROGRAFIN İLKESİ



Bir prizmadan (ya da bir kırınım şebekesinden) geçerken, ışığın farklı bileşenleri, dalga uzunluklarına göre azçok saptırılırlar.

Kimyasal bir cismi çok sıcak bir alevin içine koyduğumuz zaman, alevin ışığının, içinde yer alan cisme özgü bir renk aldığı görülür. Böylece, sodyum sözkonusu ise, ışık parlak sarı renktedir. Olayı bir spektrograf yardımı ile çözümleyebiliriz. Bu araç, ilke olarak, alevden çıkan ışığın içinden geçirildiği bir prizmadan başka bir şey değildir. Prizma farklı renkte, yani farklı frekansta ya da ayrı dalga uzunluğundaki ışıklar, farklı biçimde saptırma özelliğine sahip

olduğundan, bir spektrografla, ışımada yer alan dalga uzunluklarını iyice ayırma olanağı vardır, (sesi, farklı armoniklerine ayırma işlemi, ilke olarak, bu ayırmaya çok benzer). Dalga uzunluklarını ölçmek için elimizde son derece kesin yollar bulunduğundan, bu ayırma, bize, büyük ölçüde, değerli bilgiler verir.

Böylece, bir alev içine konan sodyumun saçtığı ışık incelendiğinde, bu ışığın, dalga uzunlukları iyi ölçülmüş belli sayıda şeritlerden oluştuğu görülür. Özellikle sodyum, dalga uzunlukları birbirine çok yakın olan iki şerit çıkarır, bunların her ikisi de sarı rengi belirleyen bandın üzerinde yer alır. Dalga uzunluklarını ölçmede ulaşılabilen kesinlik çok büyüktür, o kadar büyüktür ki, birkaç yıldan beri kadmiyumun çıkardığı ışımanın dalga uzunluğunu, yetkililer, bir uzunluk birimi olarak almayı kararlaştırmışlardır. Gerçekten de bu şekilde, ölçü birimi olarak alınan herhangi bir cetvelin verebileceğinden çok daha üstün bir kesinliğe ve doğruluğa varılabileceği görülmüştür. Her farklı atom, görünür ışık olarak, dalga uzunluğu iyice belirtilmiş, belli sayıda şeritler yayınladığından, belli bir ışığın hangi atomlar tarafından yayınlandığını, bir spektrograf yardımı ile belirlemek kolaydır. Bilinen bir atomun yayınladığı şeritlerin tümü, atomun tayfı adını alır. Yayınladığı ışığın yardımı ile bir maddenin çözümlenmesine de *tayf çözümlenmesi* adı verilir.

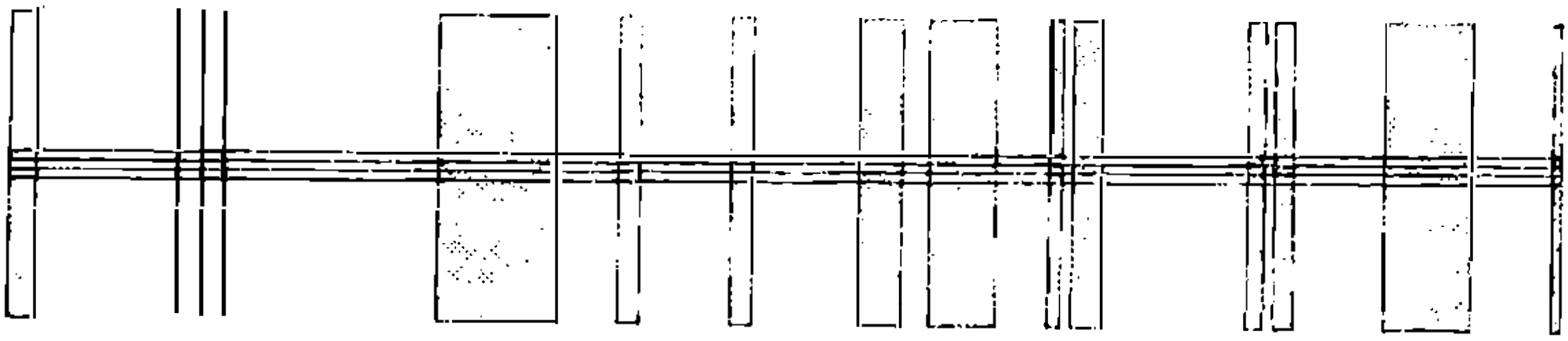
Tayf çözümlenmesi, astrofizikte temel bir rol oynar. Gerçekten de bir yıldızın yüzeyinde yer alan atomlar, onları tamamen kendilerine özgü ışıkları saçmaya yönelten, yüksek ısı koşulları içinde bulunurlar. Belli bir yıldızdan ya da bir galaksiden gelen ışığı bir spektrograftan geçirerek, ışığın yüzeysel bölgesinde hangi atomların bulunduğunu kesin olarak bilme olanağı vardır. Kısaca, yıldızın, uzaktan kimyasal çözümlenmesi yapılabilir. Şeritlerin şiddetini ve genişliğini ölçerek ışık saçan bölgedeki atomların yoğunluğunu olduğu kadar, orada hüküm süren ısıyı da yaklaşık olarak

bilecek duruma gelebiliyoruz.

Yıldızların ve galaksilerin hızını ölçme sorununa dönelim ve bir kaynağın gözlemciye göre harekette bulunması halinde, bu kaynağın tayf çözümlenmesinin nasıl değişebileceğini açıklayalım.

[ŞEKİL — 4]

BİR IŞIK TAYFININ ŞEMASI



Işığın durumu sesin durumuna benzetilebilir. Her ikisi de titreşim görüngüleridir. İyice belirlenmiş bir frekans ya da bir dalga uzunluğu, ışık sözkonusu olduğu zaman, belli bir renge karşılık olduğu gibi, bu, öte yandan, yüksekliği iyice tanımlanan bir sesi de belirler. Denebilir ki, belli bir sarı ile belli bir kırmızı arasındaki frekansların oranı sol ile do arasındaki frekans oranlarının aynıdır. Kırmızı bölgesi alçak frekanslara, yani pes seslere, bunun gibi mor bölgesi yüksek frekanslara, yani tiz seslere karşılıktır. Buna göre, görünür tayfın ne kadar dar olduğu şöyle anlaşılabilir: bu, olsa olsa frekans oranı iki olan ışımalara, tam tamına bir oktavın karşı gelmesi demektir. Öyleyse, bir ışığın tayf çözümlenmesi, bir akordun armonik çözümlenmesinin benzeridir.

Yer değiştirme hızının ses üzerindeki etkisi, bütün otomobil kullananlarca pek iyi bilinir. Sürücüsü aralıksız klakson çalan bir otomobil ile karşılaşınca, sürekli olarak tizden pese kayan bir ses işitilir. Bize yaklaşırken ses tizdir, bizimle karşılaşıp uzaklaşırken pestir. İki araba daha hızlı gittikleri, yani birbirlerine göre hızları daha büyük olduğu öl-

çüde bu etki kendini daha çok belli eder. Hız çok küçükse bu ses kaymasının duyulur hiç bir etkisi olmaz. Teorik bir araştırma, etkinin öneminin, hareket edenlerin hızı ile sesin hızının oranına bağlı olduğunu göstermemize olanak sağlar.

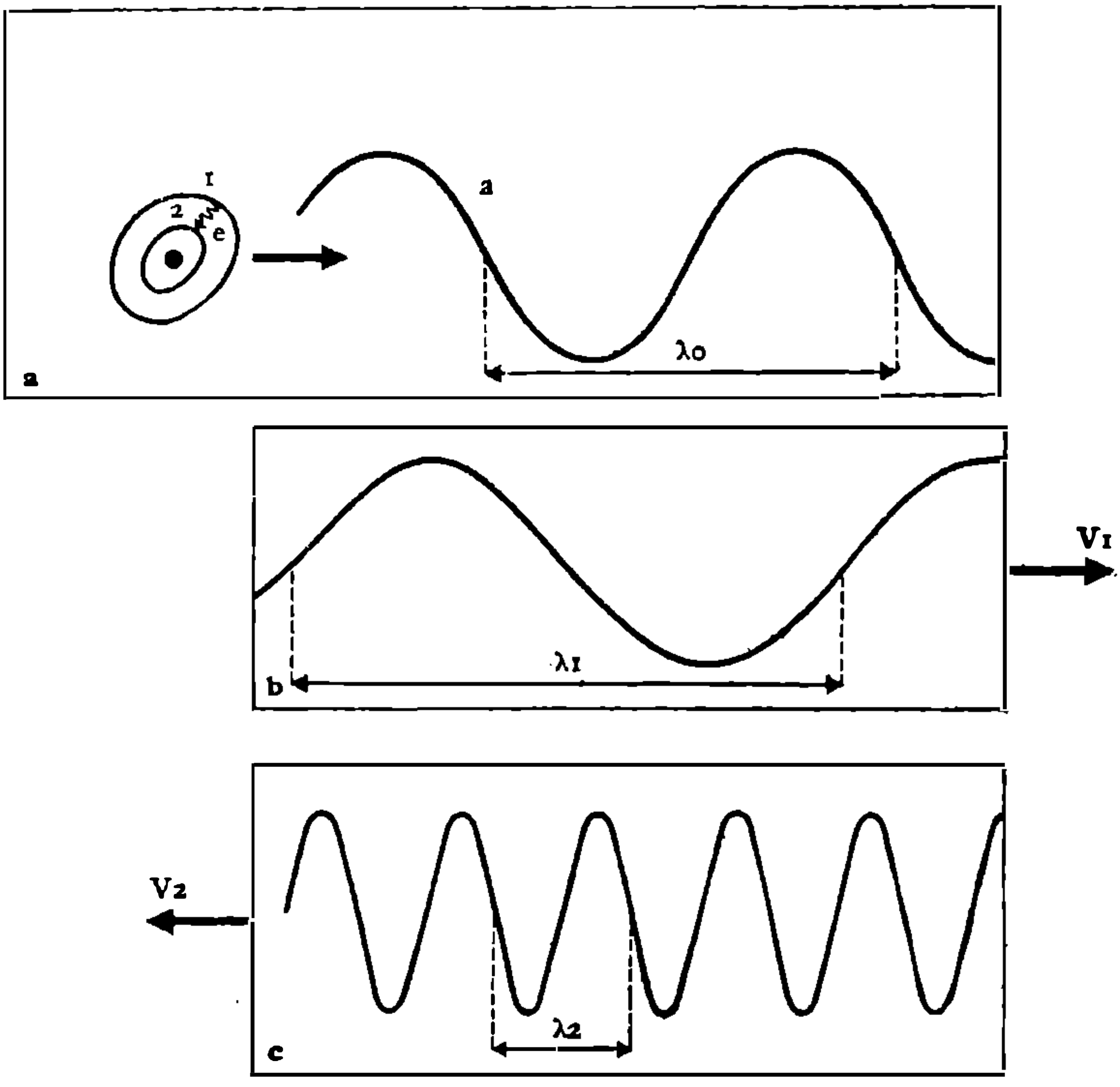
Aradaki farkları da hesaba katarak, aynı görüngü, görünür ışığın yayılması halinde de kendini gösterir. Bir ışık kaynağı bir gözlemciye yaklaştığında onun saçtığı ışık, gözlemciye tizin benzerine doğru, yani yüksek frekanslara doğru, başka bir deyimle, mora doğru yer değiştiriyor gibi gelir. Kaynak, uzaklaştığı zaman, ışığı kırmızıya doğru yer değiştirir. Bu görüngü, bunu 19. yüzyılda ilk defa olarak inceleyen fizikçinin adı ile Doppler etkisi adını alır. Kuşkusuz genel olarak ışıkta bu etki, bunun deneyini doğrudan doğruya günlük yaşamda elde edemeyeceğimiz kadar zayıftır. Bunun, görünür bir hale gelebilmesi için, kaynağın hızının, ışığınkine yakın olması gerekir. Bununla birlikte gözün göremediğini, bir spektrograf ortaya koyabilir. Bu araç sayesinde, bir kaynağın yer değiştirdiğinde saçtığı ışık şeritlerinin, azçok kuvvetle değişen bir dalga uzunluğuna sahip olduğu görülür. Bu dalga uzunlukları çok büyük bir kesinlikle ölçülebildiğinden, şeritlerin yer değiştirmesini de saptamak olanaklı olur. Kolayca yapılabilen teorik bir hesap, bu halde, kaynağın gözlemciye göre hızını bulma olanağını sağlar.

Bu yöntem büyük bir başarı ile yıldızlara uygulanmış ve Galaksideki yıldızların hızlarının dağılışı hakkında iyi bir bilgi elde etmemizi sağlamıştır. Galaksilerin yayınladığı tayf şeritlerinin yer değiştirmesini ölçmeye geçildiğinde şaşılacak bir özellik bulunuyor: beklenileceği gibi (bize doğru gelen galaksiler için) mora doğru bir yer değiştirme ve (uzaklaşan galaksiler için) kırmızıya doğru bir yer değiştirme görülecek yerde, galaksilerin tayfının sistemli olarak kırmızıya doğru yer değiştirdiği görülür. Daha ilginç olanı, galaksilerin böylece belirlenen hızı, onların uzaklıkları ile kar-

şılaştırıldığında bu iki büyüklüğün orantılı olduğunun bulunmasıdır. Başka bir deyişle galaksiler, uzak oldukları öl-

[ŞEKİL — 5]

DOPPLER ETKİSİ



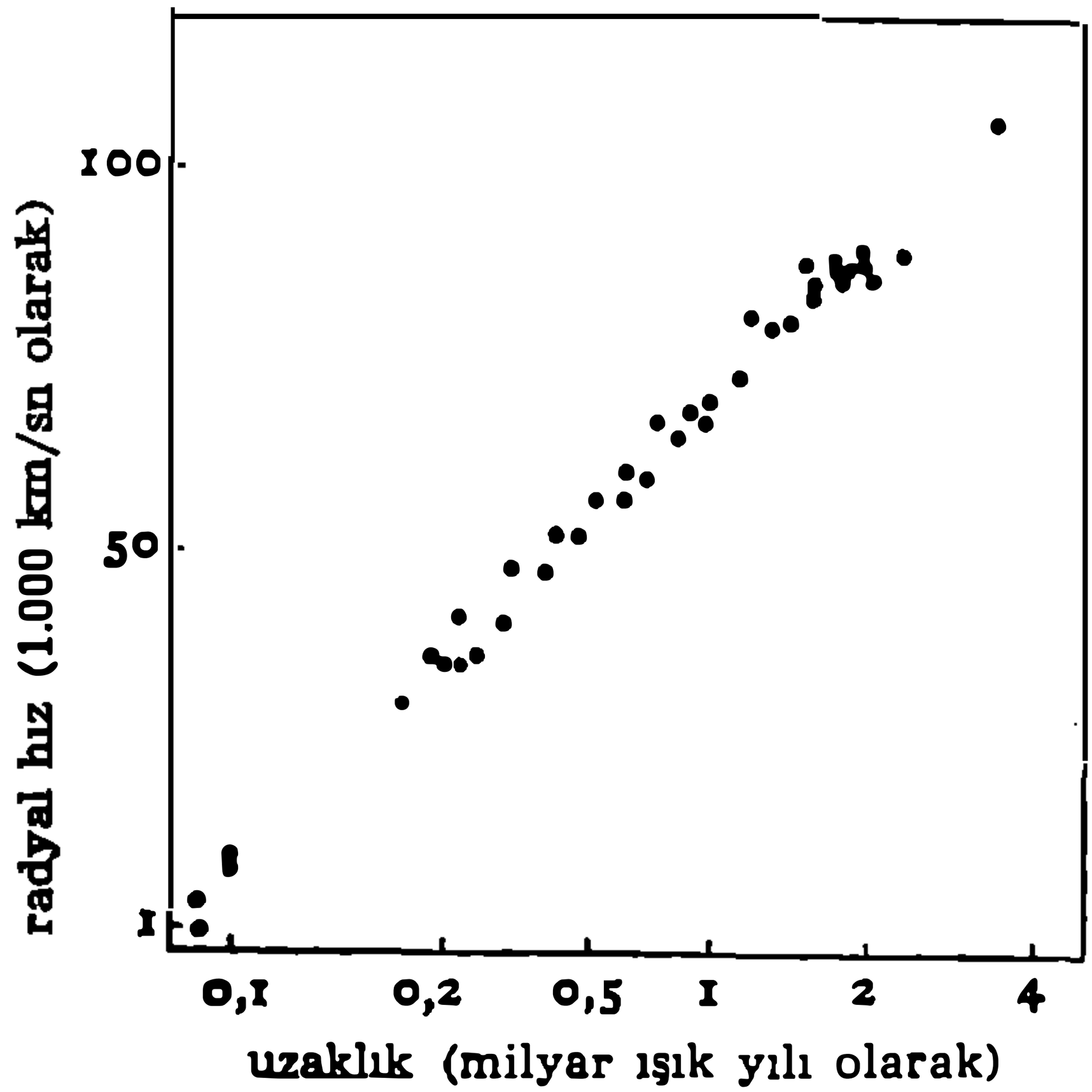
a) Atom, Rutherford'un gezegenler sistemi modeline uygun olarak gösterilmiştir. Bir elektron, 1 ile gösterilen kuantik yörüngeden, enerjisi daha az olan 2 yörüngesine geçerken okla gösterilen yönde bir foton fırlatır. Sinüsoidal eğri, sayısı pek çok olan bu tür fırlatmalarda ışıklı işaretin meydana getirdiği şeklin, atomlara göre hareketsiz olan bir gözlemci tarafından görünüşüdür. Gözlenen dalga uzunluğu λ_o'dır.

b) Yayıcıdan V_1 hızı ile uzaklaşan bir gözlemcinin gördüğü ışıklı işaret. Gözlenen dalga uzunluğu λ_1, λ_o'dan daha büyüktür, ışıma kırmızıya doğru kaymaktadır.

c) Kaynağa V_2 hızı ile yaklaşan bir gözlemcinin gördüğü işaret. λ_2 dalga uzunluğu λ_o'dan daha küçüktür, mora doğru kayma vardır.

[ŞEKİL — 6]

HUBBLE YASASI



Amacı en iyi belirtebilecek bir şekilde seçilen 41 galaksinin uzaklaşma hızlarının, uzaklıkları ile orantılı olduğu görülüyor.

çüde bizden daha büyük hızlarla kaçmaktadırlar.

Bu görüngüyü birçok biçimlerde yorumlamaya çalışmışlardır. Bir yandan gözlemlerin bütünü ile uzlaşan, öte yandan teorik çözümleme ile desteklenen tek doyurucu yorum, Evrenin genişleme halinde olduğunu söylemekten ibarettir. Bu demektir ki, herhangi iki galaksi verildiğine göre, onları birbirinden ayıran uzaklık, zamanla sistemli olarak artar. Galaksilerin kendileri sabit boyutlarını korur göründükleri halde, galaksiler arası uzay sanki şişmektedir. Gözlemlerimizin en dikkate değerlerinden biri olan bu görüngü, gelecek bölümde daha ayrıntılı olarak incelenecektir. Bu, kuşkusuz, evrenbilimin anahtarlarından birini oluşturur.

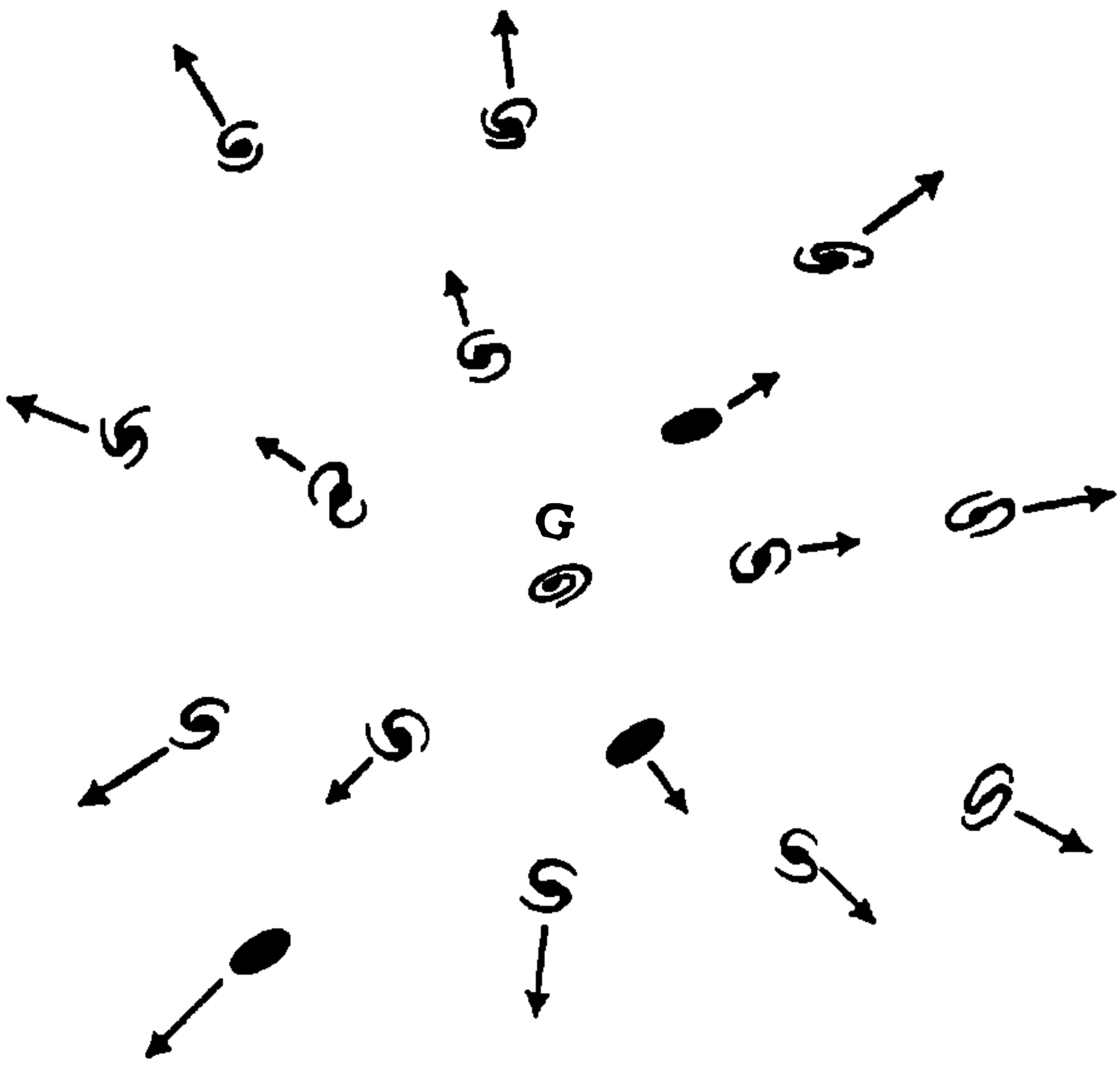
Galaksilerin, geriye doğru bu kaçışları çok güç sorunların doğmasına yolaçar. Gerçekten de gök cisimlerinin birbirlerini çektiklerini düşünmeye alışmamıza karşılık, daha çok bir itmenin varlığını bize düşündüren bir görüngüyle karşı karşıyayız. Bu ise bizi uzay kavramımızı yeniden gözden geçirmemize zorlar.

Uzay ve çekimle ilgili bilgilerimiz, Einstein'ın 1912'de ortaya attığı genel rölativite teorisinde bulunmaktadır. Bu teori, uzay, zaman ve hareket üzerine, yüze yakın kuşak boyunca sürdürülen derin bir düşüncenin ulaştığı noktadır.

Zaman, uzun süre, yerkürenin bütün noktalarında öz-

[ŞEKİL — 7]

EVRENİN GENİŞLEMESİ



G galaksisinde yer alan gözlemci, bütün öteki galaksilerin uzaklaştığını görür.

deş kalarak akan ve bütün yaratıklar için aynı olan yalın bir kavram olarak düşünülmüştür.

Uzay da, Yunan matematikçilerine, araçsız ve sezgi ile apaçık kavranan bir veri olarak görünmüştür. Uzay kavramında, örneğin, Eukleides'e göründüğü biçimde, doğru çizgi büyük bir rol oynar. Gerçekte, daha başlangıçta, bu kavramların fizik bir çevre içersinde yer aldıkları açıktır, çünkü Eukleides'e göre, doğru, "bütün noktalarının ağırlığı aynı olan bir çizgidir". Eukleides'in *Elemanlar*'ında kanıtlanan doğrunun çok önemli bir özelliği de, bunun iki nokta arasında en kısa yol olmasıdır. Gerçekte bu özellik, kolayca, tanım olarak alınabilirdi. Bu da belli bir biçimde fizik bir özellik olurdu, çünkü uzaklıklar bir iple ya da bir cetvelle gerçekten ölçülebilir. Bunun gibi doğru çizgiyi, bir ışının yörüngesi olarak düşünme fikrinin çok erkenden belirdiği görülür.

Uzay ve zaman hakkındaki bu yalın kavramlar, günlük deneylerden çıkarılıyordu, ve çevremizde gözleyebileceğimiz birer olaydı.

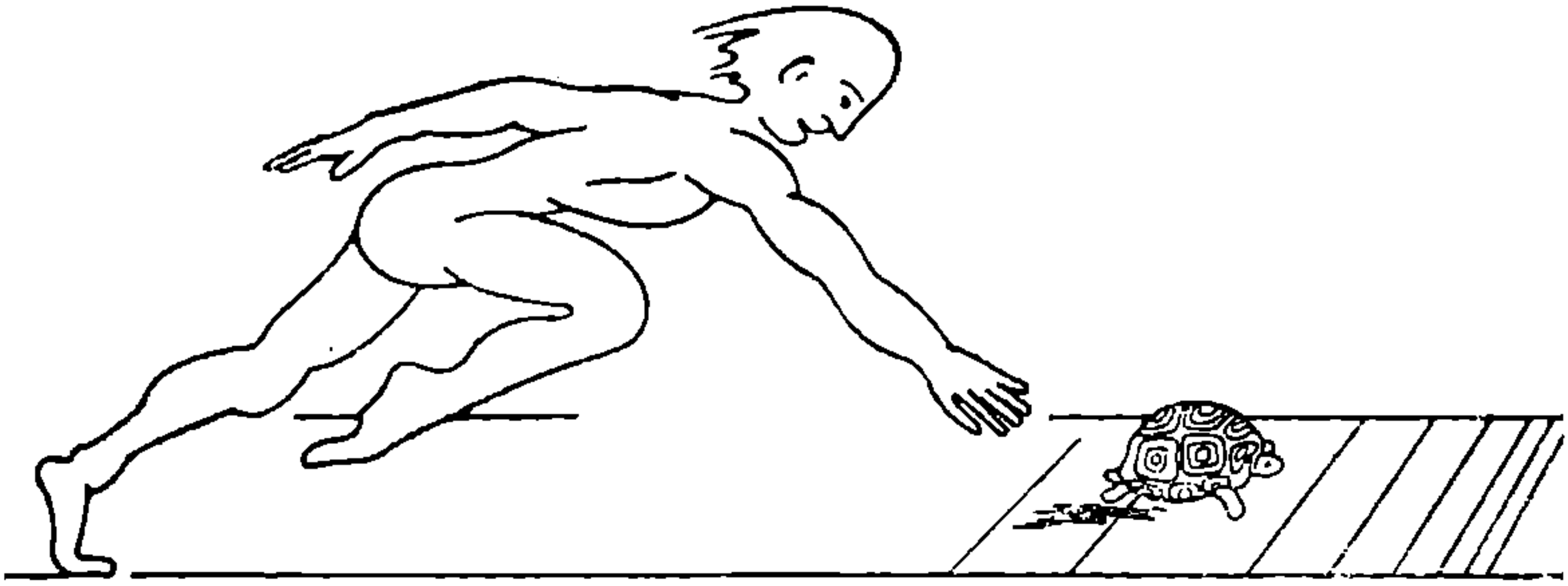
Hareket kavramı, yani en ilkel biçiminde, bir noktanın uzayda zamanın akışına bağlanan yer değiştirmesi, daha ince bir kavram olarak göründü. Felsefî düşünce boyunca Platon'dan, Aristoteles'ten, Augustinus'tan ve skolastikten geçerek, Parmenides'in okulundan Rönesansa kadar, bu sorunun tartışmalarına raslanır. Bize bugün şaşırtıcı görünen temel güçlük, hareketin sürekli oluşunu kavramaya ulaşmak olmuştur.

Rönesans devrinde, örneğin bir topun fırlattığı bir güllenin, hareketsiz durumundan, namludan çıkıştaki hızına kadar, olabilecek bütün hız değişimlerinden geçmesi gerektiği akılalmaz görünürdü, ve onun bir hızdan öteki hıza, birdenbire geçtiğini düşünme eğilimi gösterilirdi. (Eskilerin sürekli hareketi düşünmekte buldukları güçlüğün geleneksel örneği, Parmenides'in çömezi Elea'lı Zenon'dan gelen

Akilleus ve kaplumbağa paradoksudur.) Sonuç olarak, eksik olan şey, hareketin açık ve kesin bir matematik anlatılışıdır. Süreklilik kavramını kesinleştirerek, hız kavramını açıkça dile getirerek (bugün buna türev adı veriliyor) ve hele Des-

[ŞEKİL — 8]

AKİLLEUS VE KAPLUMBAĞA



Zenon, Akilleus ile kaplumbağa paradoksunu, aşağıyukarı şöyle canlandırıyor. Başlangıçta Akilleus ile kaplumbağa arasındaki uzaklık yüz metredir, ve Akilleus kaplumbağadan yüz kere daha hızlı koşmaktadır. Akilleus bu yüz metreyi aşınca kaplumbağa bir metre ilerlemiştir. Akilleus bir metre ilerleyince kaplumbağa bir santimetre ilerlemiştir. O, bir santimetreyi aşınca kaplumbağa onda-bir milimetre ilerlemiştir... ve bu böylece sonsuza dek gider. Böylece, Zenon, hareketin gösterilmesinde ciddi bir güçlük bulduğunu ileri sürüyor, çünkü Akilleus bu sonsuz yaklaşma dizisini aşmak için sonsuz bir zaman kullanmak zorundadır.

Gerçekte, matematik çözümlemenin doğması ile anlaşılmıştır ki, sonsuz zaman aralıklarının kavramsal bir dizisi bulunmakla birlikte, bunların toplamı sonludur, ve Akilleus pekâlâ kaplumbağayı yakalar.

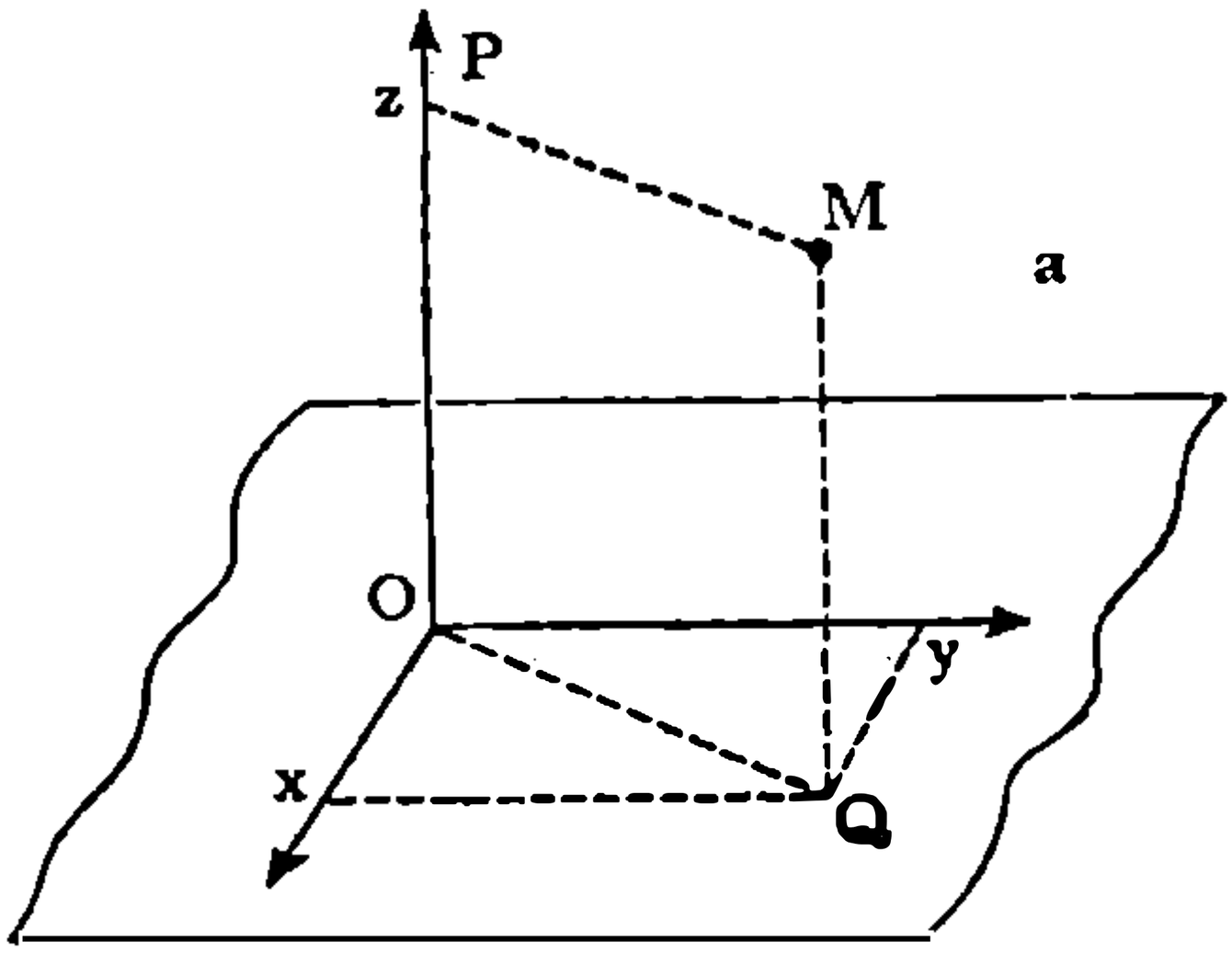
cartes tarafından analitik geometrinin koordinatlarının bulunması sayesinde, klasik çağın ilk zamanları, hareketi doğru bir biçimde tasarlama olanağını hazırladılar. Tarihte ilk kez, yeni matematik kavramlardan hareket ederek, gerçeğin anlaşılmasında bir ilerlemenin meydana geldiği görülüyordu.*

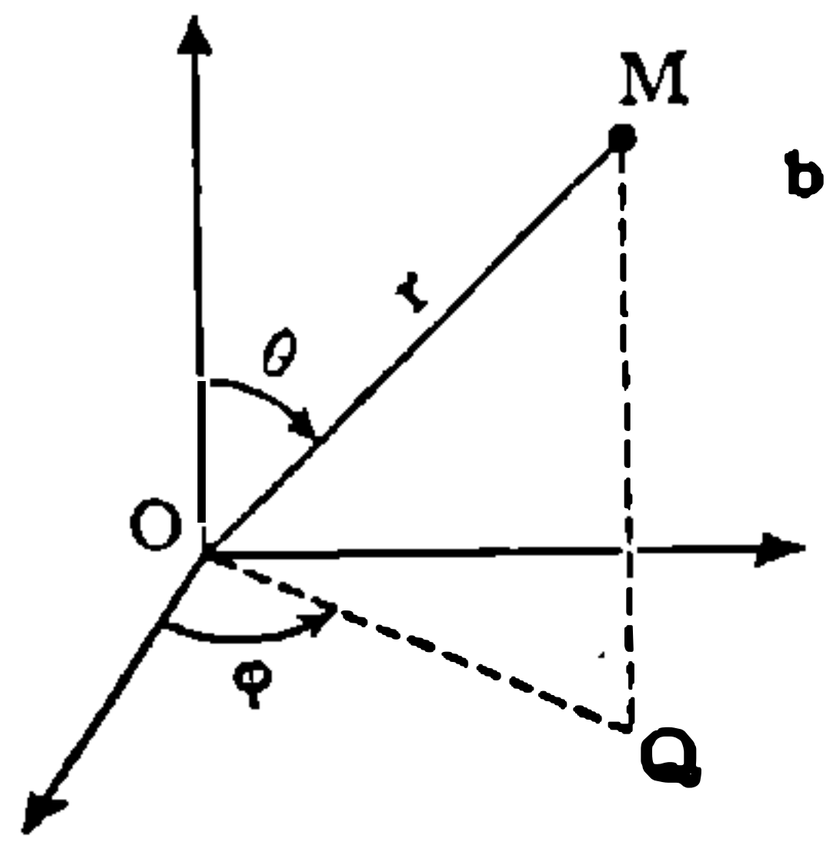
* Akıl alanında görülen ilerlemelerin, mantık denilen bir mekanizmanın kendiliğinden, rasgele ya da araştırılarak yaratılmasıyla oluştuğu, büyük bir olasılıkla, her yerde görülen bir olgudur. Bu mekanizmayı beyin yaratabilir ve

İlerisi için, Descartes'a göre, geometride koordinatlar kavramının nasıl işe karıştırılacağını görmekte yarar vardır. Üç sayı, örneğin (x, y, z) (şekil 9a) büyüklükleri ya da (r, θ, φ) (şekil 9b) büyüklükleri verilince uzayda bir nokta tam olarak belirtilir. Bu büyüklükleri ya da koordinatları

[ŞEKİL — 9]

ÜÇ BOYUTLU BİR UZAYDA BULUNAN BİR M NOKTASININ KOORDİNATLARININ İKİ ÖRNEĞİ





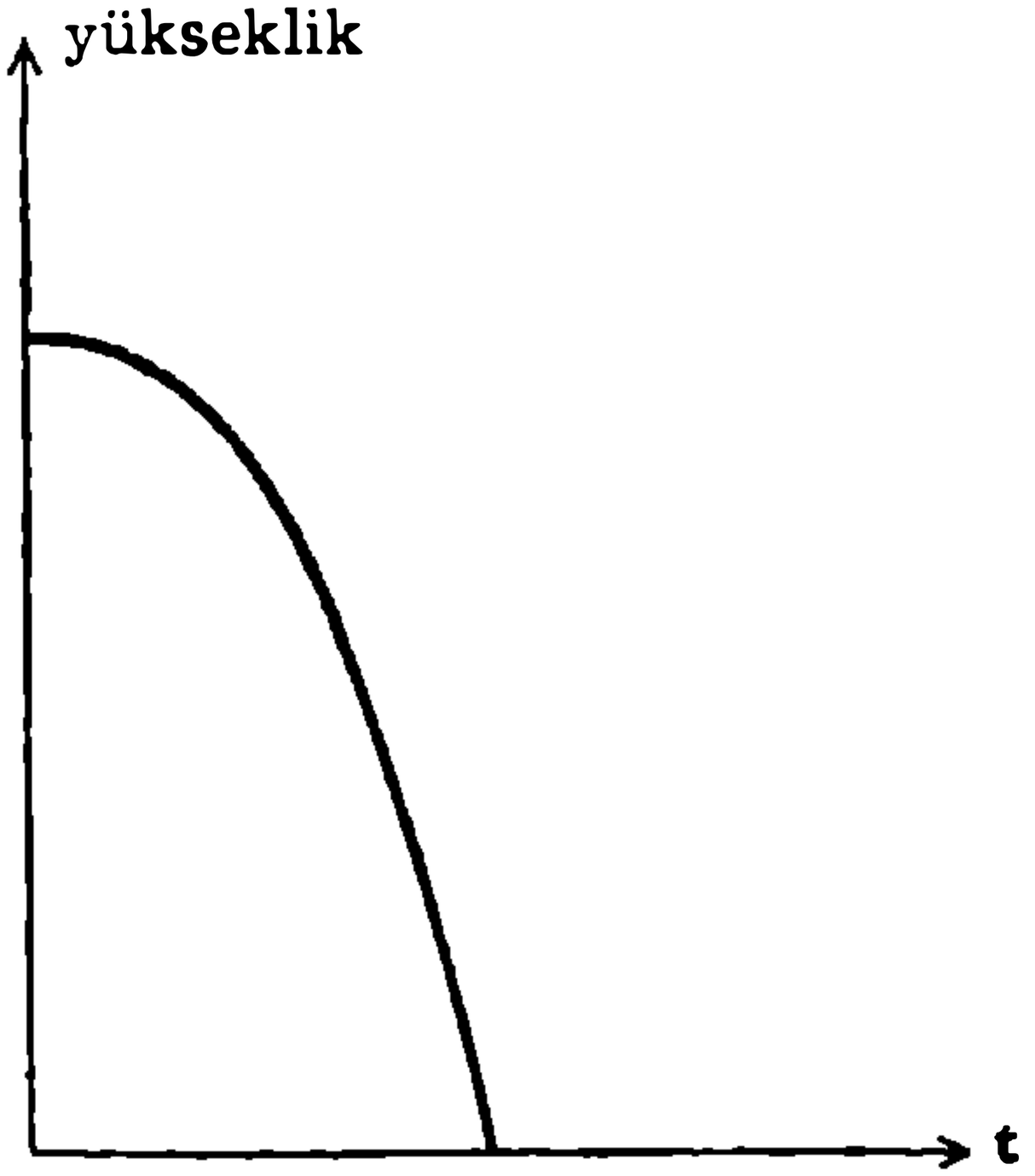
a) Kartezyen koordinatlar (x, y, z). Bu koordinatlardan biri, örneğin z, sabit bir O noktası ile M'den xOy düzlemine paralel olarak geçirilen bir düzlemle z ekseninin P kesim noktası arasındaki uzaklığı gösterir.
b) Kutupsal koordinatlar (r, θ, φ): O ile M arasındaki uzaklık r, sabit Oz ekseni ile OM arasındaki açı θ, sabit xOz düzlemi ile z ekseni ve M'nin tanımladığı düzlem arasındaki açı φ'dir.

tanımlamak için seçilen yol ne olursa olsun, bunların sayısı her zaman üçtür. Bu da *üç boyutlu uzay*dan ne anlaşıldığını açığa vurur. Koordinatları verilen nokta hareket halinde ise, koordinatlar zamanın fonksiyonlarıdır. Böylece, hareket kavramı, bu yol ile fonksiyonlar kavramına indirgenmiş olur.

yineler; yerine göre bu, matematik bir model, bir kavram, bir sözcüğe ya da bir simgeye aktarılmış bir anlam olabilir ve bu, benzeşim yolu ile gerçekte görüleni yineler. Aklın kendisi bu türlü çağrışımların verimli olmalarından doğmuş değil midir?

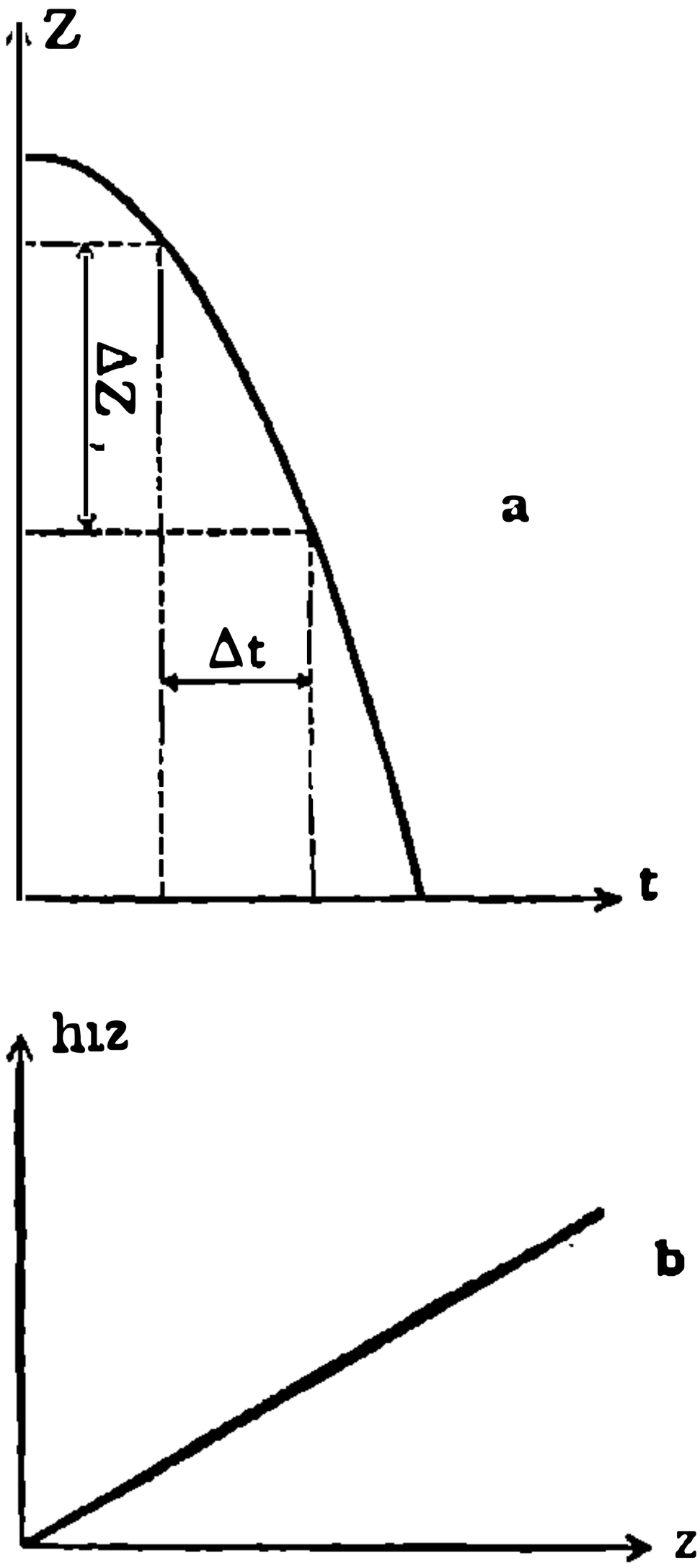
Örneğin düşen bir cismi düşünelim. (x, y, z) koordinatları yardımı ile gösterilince, bu düşme, cisim ile zemin arasındaki z uzaklığının zamanla azalması ve böylece bir $z(t)$ fonksiyonu oluşturması demektir (şekil 10).

[ŞEKİL — 10]



Serbest düşen bir cismin yüksekliğinin, zamanın fonksiyonu olarak değişimi. Cisim sıfır zamanında h yüksekliğinden bırakılmıştır.

[ŞEKİL — 11]



a) Hareket eden bir cismin anî hızının, Δt zaman aralığında aşılan Δz uzaklığının $\Delta z/\Delta t$ oranının limiti olarak tanımlanması.
b) Serbest düşen bir cismin zamanın fonksiyonu olarak hızı.

Sezgi yolu ile kavranan hız, hareket eden cismin verilen bir zamanda aştığı uzaklığa karşılıktır. Bir otomobilin hızını saat/kilometre olarak dile getirdiğimiz zaman anladığımız budur. Kesin bir biçimde söylenirse, serbest düşen cismin *t anındaki* hızı, aşılan Δz uzaklığı ile bunu aşmak için harcanan Δt zamanı arasındaki oranla, yani $\Delta z/\Delta t$ ile tanımlanır ki, limitte Δt zaman aralığı sonsuz küçüktür (şekil 11).

Böylece hız da, kendisi

için aynı çözümlemenin yinelenebileceği, zamanın bir fonksiyonu olarak görünür. Buna göre *ivme*, hızın hızı olarak tanımlanır (yani hızın bir Δt zaman aralığında değiştiği Δv miktarı ile ilgili $\Delta v/\Delta t$ oranının Δt sıfıra giderken limitidir).

Şekillerden de açıkça görüldüğü gibi, serbest düşen bir cismin hızı, zamanla doğrusal olarak artar, cisim başlangıç itmesi olmaksızın bırakılmışsa, hızın başlangıç değeri sıfırdır ve böylece ivme sabit olur.

Çok yalın olan bu matematik kavramlar, sonunda, açıkça tasarlanan hareketin çözümlenmesinde kısa bir zamanda pek önemli ilerlemelere neden olacaktır.

NEWTON DİNAMİĞİ

Uzayda yolalırken zaman değiştiğine göre, uzayla zamanın bir bileşimini işe karıştıran hareketin ne olduğu anlaşıldıktan sonra, hareketin nedenini ele almak uygun olacaktır. Burada, oku hedefine doğru iten ortaçağın meleklerini yerlerine gönderdikten sonra, hareketin nasıl oluştuğunu bulmak sözkonusudur.

En uygun soruyu sorarak, Galilei bu yönde kesin bir adım atıyordu: "Kendisini etkileyen hiç bir hareket, nedeni bulunmadığı zaman, bir cismin hareketi nasıldır?" Buna yanıt vermek için, her gün çevremizde gördüğümüzü bir yana bırakmak gerekiyordu. Çünkü yeryüzünde ağırlığın etkilemediği ve hava ya da suyun direnci ile karşılaşmayan hiç bir şey yoktur. Galilei, günlük deneyin bu sınırlandırmalarını bilmekteydi, ama onları bir yana bırakmak yürekliliğini gösterdi, ve, tarihte ilk kez sistemli deneyler gerçekleştirerek ve görüngüleri soyutlayıp ayırarak basitleştirmeyi başardı. Böylece buradan, tanınmış eylemsizlik ilkesini dile getirmesi olanaklı oldu.

*Eylemsizlik ilkesi*ne göre "Kendisini hiç bir hareket nedeninin (daha sonra buna hiç bir kuvvetin denecektir) etkilemediği bir cisim, doğru çizgi üzerinde ve düzgün bir hare-

ketle yer değiştirir." Öyleyse böyle bir cisṃin yörüngesi bir doğru çizgidir, ve çisim bunun üzerinde sabit bir hızla yolalır. Burada, doğru çizginin düzenleyici rolünün ve geometri ile mekaniğin yakınlığının yeniden ortaya çıktığını görüyoruz.

Galilei'nin ilkesinde büsbütün yeni olan bir şey vardır, çünkü yeryüzünde bu koşulları yerine getirmek olanağı yoktur. Gök cisimlerine gelince, onlar birbirlerini çektiklerinden yörüngeleri doğru çizgiler değildir. Öyleyse, Galilei'nin ilkesi, uygulamada gerçekleştirilemeyen koşullarda, basit bir özelliğin ileri sürülmesidir, bu özellik ancak bir dereceye kadar, sonuçların birikimi ve doğrulanması ile haklı gösterilebilir. Bu, fiziğin birinci *aksiyom*unu oluşturmuştur.

Hareket nedenlerinin nasıl etkili olabildiğini düşünen Newton, bundan sonraki aşamayı başarmıştır. Örneğin bir beygir bir arabayı hareket ettirince ona bir kuvvet uygular. Newton, kuvvet bilinirse, bunu, kütle denilen bir büyüklük ile bölerek, buradan ivmeyi bulabileceğini *varsaymıştır*. Burada kütle, harekete karşı koymanın bir çeşidi olarak görünür: Böylece kütlesi bir başka arabanınkinin iki katı olan çok yüklü bir araba, aynı beygirin etkisi altında birincinin yarısı kadar bir ivme kazanır. Kısaca kütle, hareket edenin *eylemsizliğini* belirtir ve bu yüzden ona eylemsizlik kütlesi adı verilir. Buna göre her cismin olanaklı bütün kuvvetlere karşı gösterebileceği tepkiyi belirleyen özel bir eylemsizliği vardır. Bunu bulduktan sonra, geriye, bir kuvvetin ne olduğunu anlamak işi kalıyordu.

Newton, böylece, ortaya konulan dinamik yasalarını gök cisimlerinin hareketine ve, aynı şey demek olan, yerçekiminin etkisindeki cisimlerin hareketine uyguladı. Burada etki yapan bir kuvvetin ne olduğunu anlamakla işe başlamak gerekiyordu. Böylece, Yerküre Ayı etkilediği zaman, Newton, Yerkürenin, uydusuna bir kuvvet uyguladığını varsayıyordu. Ay, Yerküreden ne kadar uzaksa bu kuvvet de o kadar zayıftır. Daha kesin olarak söylenirse, Newton, uzaklık

iki kat olunca, kuvvetin ilk değerinin dörtte-birine indiğini varsaydı (o halde, kuvvetin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğu söylenir). Öyleyse belirli bir uzaklık için bir kuvvetin büyüklüğü kesin olarak bilinirse, herhangi bir uzaklık için de bu kuvvetin büyüklüğü biliniyor demektir. Bu son değeri saptamak için, Newton, kuvvetinin hem Ayın kütlesi, hem Yerkürenin kütlesi ile orantılı olduğunu varsaydı; bunların hepsi çekim sabiti denilen evrensel bir sabitle çarpılır. Burada kütlenin rolünün birdenbire değiştiğine işaret edelim: böylece Ay, yapay bir uydunun yeryüzünden olan uzaklığına eşit bir uzaklığa konulursa, Yerkürenin bunların herbirine uyguladığı kuvvet, onların kütleleri ile orantılıdır. Bu çok dikkate değer bir noktadır, çünkü, sonunda uygulanan kuvvetin gerçekte uygulandığı cisme bağlı olması, ama orantılılık katsayısının, bu cismin kütlesinden farklı ve çekim katsayısı adı verilen yeni bir özelliği olması bekleniyordu. Böylece iki elektrik yükü arasında uygulanan kuvvet de uzaklığın karesi ile ters orantılı olur, ama bunun kütle ile hiç bir ilişkisi yoktur. Bunun gibi ağırlığı belirtecek olan çekim yüklerinin varolması beklenebilirdi. Ama Newton'a göre bu katsayı, bu yük, eylemsizlik kütlesinin özdeşi olarak görülüyor. Kütlenin bu yeni görevini iyice belirtmek için, ağırlık katsayısı olarak ortaya çıktığında, buna, çekim kütlesi denilmesi uygun görüldü. O halde Newton varsayımı şu biçimde dile getirilebilir: "*Çekim kütlesi, eylemsizlik kütlesine eşittir*." Bu özelliğin; ister Ay kadar büyük, ya da isterse Ay modülü kadar küçük olsun, bir gök cisminin yörüngesinin, kütlesinden bağımsız olarak, aynı olduğu sonucunu verdiğine işaret etmek ilginçtir. Bu, Newton teorisinin derin anlamını açığa vurmadan ortaya attığı esaslı bir sadeliktir. Bundan dolayı bu teorinin daha da iyileştirilmesi beklenebilir.

Newton dinamiği ikiyüz yıla yakın bir sürece kullanıldı, geliştirildi, inceltildi, başarısı da giderek daima kendini korudu. Merkürün Güneş çevresindeki hareketinde çok hafif

bir düzensizlikten başka bir şey görülmemişti. Bu ikiyüz yıl boyunca dinamiğin devrimini doğuracak olan ilerlemeler başka yerlerden geliyordu.

MATEMATİK UZAYLAR

19. yüzyıl boyunca matematikte büyük bir yenileşme, derinleşme ve soyutlaşma hareketi görüldü. Daha Gauss, yüzyılın ta başlarında, uzayın özellikleri sorununu yeniden ortaya atmıştı: "Gözlediğimiz biçimdeki uzay Eukleides'in koyduğu postulalara uygun düşüyor mu?" diye soruyordu. Bu soruya deney yolu ile karşılık vermeye çalıştı ve, jeodezik ölçümler yaparak, köşeleri kulelerin ya da bir tepenin üstünde olan bir üçgenin iç açılarının toplamının 180 derece olup olmadığını doğrulamayı denedi.

Bununla birlikte ilerleme, deney yöntemi ile değil, belki de mantıksal düşüncelerden hareket ederek sağlanacaktı. Gerçekte Eukleides, geometriyi belli sayıda postulalar üzerine kurmuştu ve matematikçiler, bir tanesi dışında, hepsini genel olarak olduğu gibi kabul ediyorlardı. Eukleides'de, beşinci sırayı alan bu tartışmalı postula şunu söylüyordu: verilen bir noktadan verilen bir doğruya birden fazla paralel çizilemez. Uzun süre bu postulanın zorunlu olup olmadığı, öteki postulalara dayanarak bunun kanıtlanıp kanıtlanamayacağı, yani teorem haline getirilip getirilemeyeceği araştırıldı.

Yavaş yavaş Lobatçevski, Bolyai, Gauss ve Riemann'ın etkisi ile beşinci postulanın ötekilerden bağımsız olduğu ve gerçekten değiştirilebileceği anlaşıldı. Verilen bir doğruya, bu doğrunun dışındaki bir noktadan geçen hiç bir paralelin bulunmadığı kabul edilebilirdi. Bunun gibi, birçok paralelin bulunabildiği varsayılabilir ve, hiç bir çelişkiye düşmeden bu geometrilerden herbiri tek başına geliştirilebilirdi.

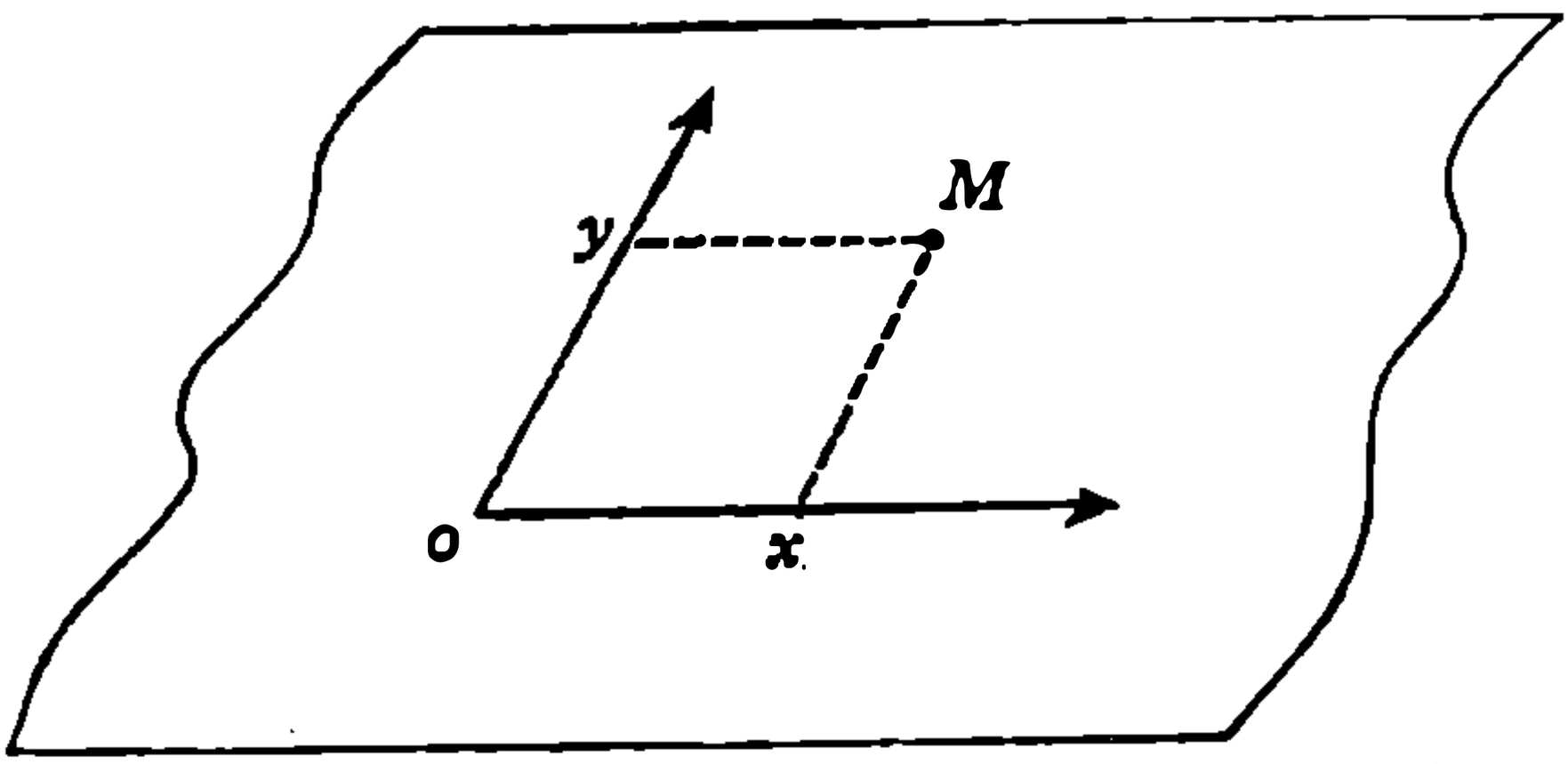
Böylece Eukleides'in betimlediği uzayın kendi postulaları ile ve sonuç olarak dil ile tam olarak tanımlanmış olduğu anlaşıldı. Ama, aynı biçimde, başka uzaylar da pekâlâ ta-

nımlanabilirdi. Bu durumda matematikçiler şunu söylediler: niçin yalnızca bizi çevreleyeni betimlemek için düşünceyi ve çözümlemeyi sınırlayalım, ve mantık bakımından olanaklı olan bütün uzayları niçin incelemeyelim? Bu durumda olanaklı bir uzaydan anlaşılan şey, elbette ki, gözün tasarlayabildiği ya da beynin bir imge ile canlandırabildiği bir uzay değildir (gözlerimiz ve beynimiz, iyice belirli bir uzay içinde, çocukluğumuz ve insan türünün gelişmesi boyunca oluşmuştur); daha çok, yalnızca mantığın ve hesabın kullanılması ile anlatılabilecek ve içinde yeni buluşların yapılabileceği bir uzay sözkonusudur.

Böylece kurulabilen uzayın en yalın genelleştirilmesi, boyutlarının sayısı üçten farklı olan bir uzaydır. Bu sayı üçten az ise, buna karşılık olan uzayı gözönüne getirebiliriz. Böylece iki boyutlu Eukleides uzayı bir düzlemden, bir boyutlu bir uzay, bir doğrudan başka bir şey değildir. Ama postulalarla üç boyutludan çok, dört, beş boyutlu uzaylar da tanımlanabilir. Bu tür uzaylar sezgi ile canlandırılamaz, ama analitik geometri burada, üç boyutlu Eukleides uzayınınkinden pek az farklıdır. Sonra sonsuz sayıda boyutlara geçilir...

Şimdi gördüğümüz gibi bir düzlem, iki boyutlu bir Eukleides uzayıdır: bir düzlemin her noktası iki sayı ile, örneğin iki eksen üzerinde ölçülen x ve y koordinatlarının değerleri ile saptanabilir (şekil 12).

[ŞEKİL — 12]



Düzlemin M noktaları iki x ve y koordinatları ile belirlenmiştir. Öyleyse düzlemin iki boyutu vardır.

Ama, iki boyutlu başka uzaylar da vardır. Bir kürenin (ya da yeryüzünün) durumu gözönüne getirilirse, bir noktanın yeri iki *sayı* ile, örneğin enlem ve boylam ile tam olarak belirlenmiştir (şekil 13).

Kürenin hangi bakımdan düzlemden farklı olduğu sorulabilir. Sokrates'ın bu soruyu dostu Menon'a sorduğunu düşünelim:

Sokrates: Peki Menon, küre ile düzlem arasında bir fark var mı?

Menon: Evet Sokrates, hem de önemli bir fark var.

Sokrates: Hangi fark?

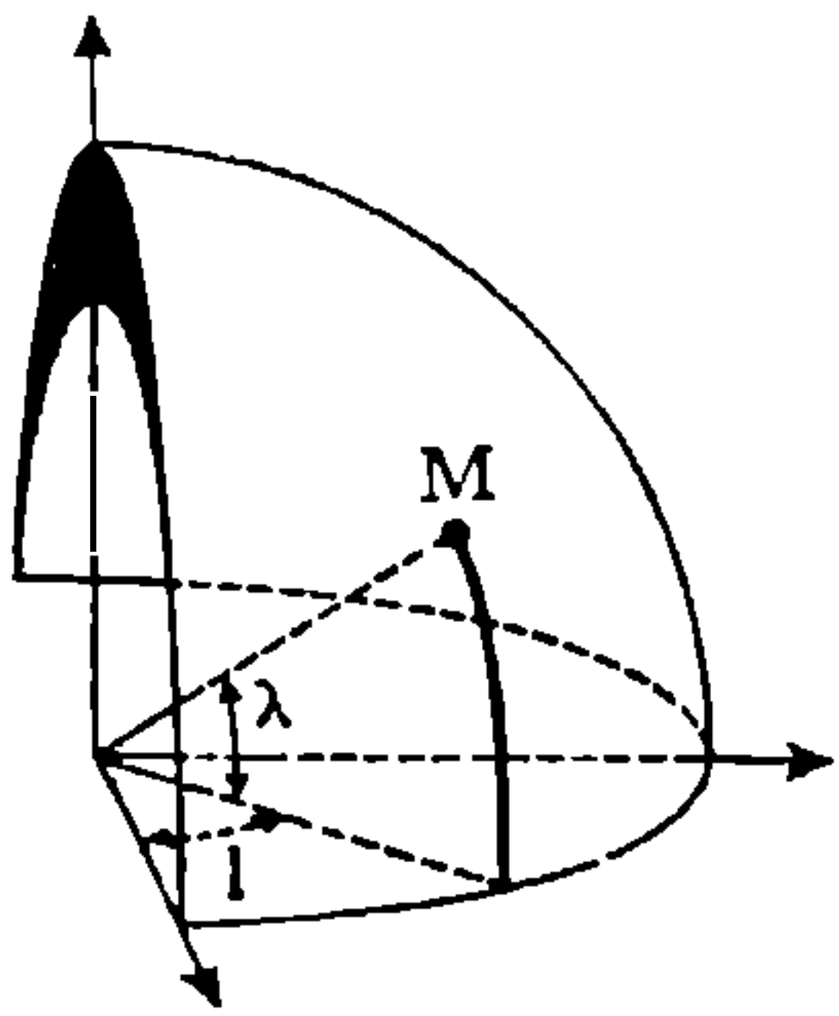
Menon: Küre ile düzlem arasında bin türlü fark var.

Sokrates: Bana bir tanesini söyle yeter.

Menon: Peki, örneğin, küre de doğru çizgi yoktur düzlemde vardır.

Sokrates: Bu ne kadar da basitmiş. Ama, memnun etmek için düşünceni belirtir misin? Sen hangi şeye doğru çizgi diyorsun?

[ŞEKİL — 13]



Bir küre üzerindeki bir M noktasının λ enlemi ve l boylamı ile saptanması kürenin iki boyutlu bir uzay olduğunu gösteriyor.

Menon: Eukleides, sanırım, bunu bütün noktalarının ağırlığı aynı olan çizgi diye tanımlar.

Sokrates: Bana öyle görünüyor ki, bu tanımı kullanmakta bazı güçlüklere uğruyorsam da, yeryüzünde bu türlü çizgiler bulmanın çaresi vardır. Acaba Eukleides, uygulaması bizim için daha kolay olan başka özelliklerini vermiyor mu?

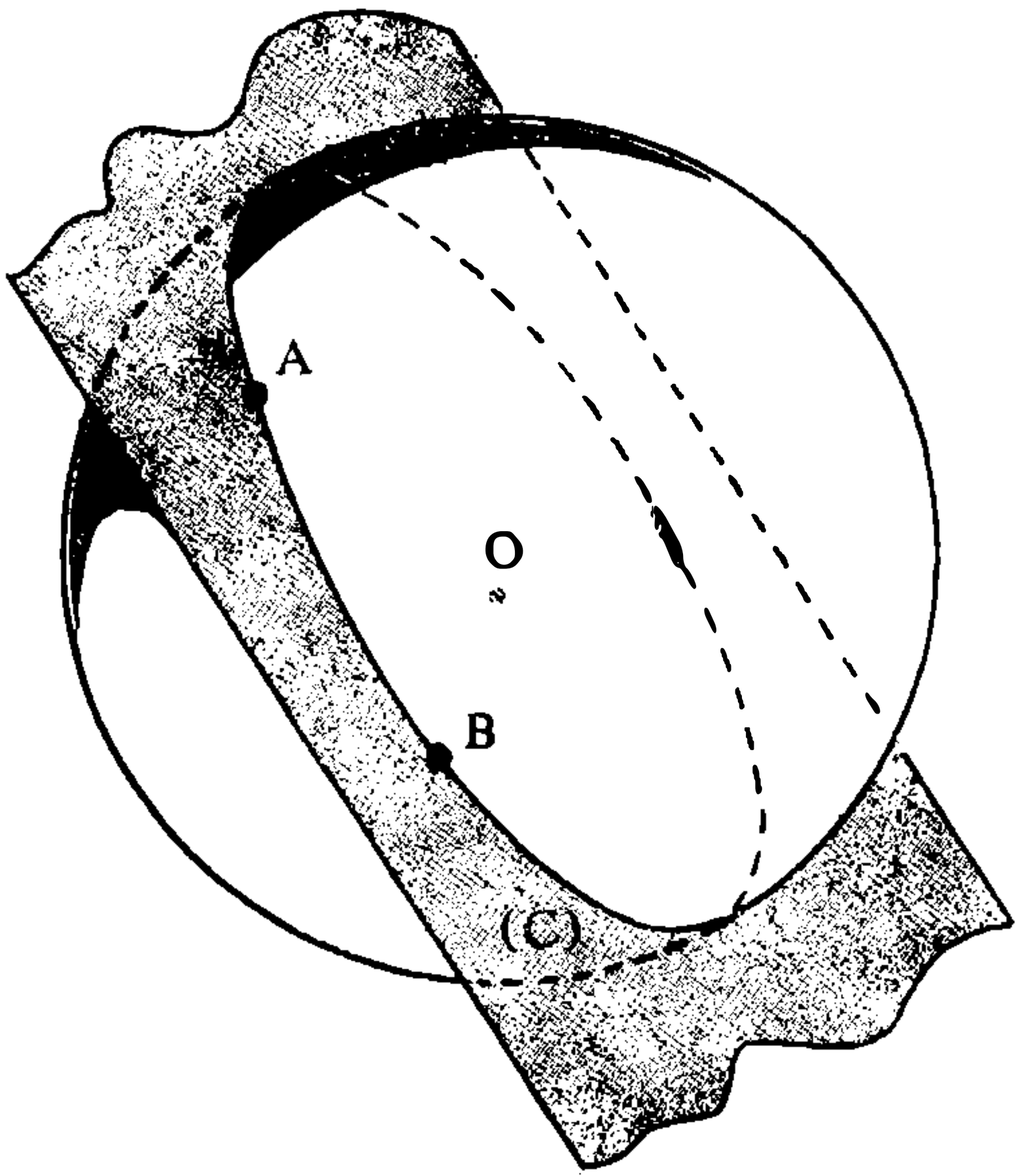
Menon: Veriyor, doğru çizgi iki nokta arasındaki en kısa yoldur.

Sokrates: Ama küre üzerinde de böyle çizgiler var. Buradan kuzey kutbuna en kısa yol, bu noktadan geçen boylamdır. Buradan Babil'e giden en kısa yolu bulmak için, buradan ve oradan geçen büyük çemberi almak yeter.

Menon: Büyük çember dediğin nedir Sokrates?

Sokrates: Peki, şu şekle bak (şekil 14). Küre üzerinde A ve B noktalarını görüyor musun? Bu noktalarla kürenin merkezinden geçen bir düzlem vardır. Bu düzlem küreyi büyük çember dediğimiz bir C çemberinde keser. Bir top, bir çemberin içine tam oturmuşsa, çemberi top üzerinde hareket ettirerek olanaklı bütün büyük çemberleri çizmiş oluruz.

[ŞEKİL — 14]



A ile B den geçen bir büyük çember.

Menon: Büyük çember de A ile B arasında en kısa yol olur öyle mi?

Sokrates: Evet.

Menon: Peki, ya sonra?

Sokrates: Menon, yalnızca postulalara güvenirsem, doğru çizgiyi, bir noktadan öteki noktaya giden en kısa yol olarak tanımlayamaz mıyım ve, küre üzerinde "doğru çizgilerin" büyük çemberler olduğunu söyleyemez miyim?

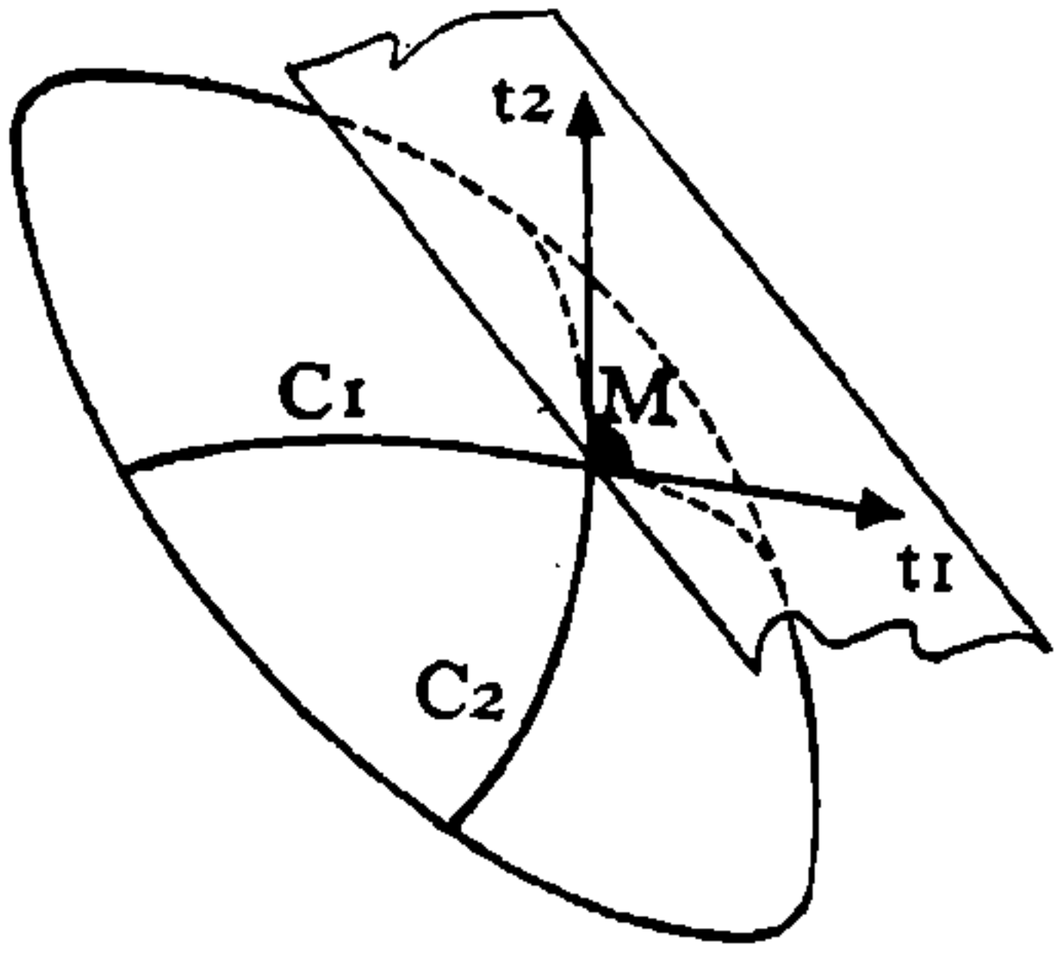
Menon: Bunu yapmaktan seni nasıl alıkoyabiliriz? Gerçekten de kürenin herhangi iki noktasından bir tek doğru çizgi, ya da istersen, bir büyük çember geçer. Bununla birlikte, zihnim karışıyor, söyle bana gerçekten bir kürenin ya da bir düzlemin karşısında bulunduğumuzu bilmenin yolu yok mu?

Sokrates: Elbette var, Menon. Ama bunun için bir açıyı tanımlamayı bilmek gerek.

Menon: Sen bunu nasıl yapacaksın?

Sokrates: Küre üzerinde bulunan ve M noktasında kesişen şu iki 1 ve 2 eğrilerine bak. Bunlardan herbirinin M noktasında t_1 ya da t_2 gibi birer teğeti vardır. Teğetlerin oluşturdukları açıya bu iki eğrinin açısı dersek nasıl olur?

[ŞEKİL — 15]



M noktasında kesişen C_1 ve C_2 gibi iki eğrinin arasındaki açı.

Menon: Peki ama, bunun, Eukleides'in açı dediği şeye uygun olması gerek.

Sokrates: Uygundur. İstersen bunu gerçekleyebiliriz.

Menon: Olur, ama daha sonra.

Sokrates: Şimdi küre üzerinde çizdiğim üçgene bak. [Bkz: şekil 16.] Buna ABC üçgeni diyorum. Bunun B tepesi kuzey kutbundadır, A ile C ekvator üzerindedir ve boylam-

ları arasında 90° fark vardır (ötekinde saat oniki iken birincisinde akşamın altısıdır). Üçgenin 1, 2 ve 3 ile gösterdiğim kenarları büyük çemberlerin parçalarıdır, ve bunlardan 3 ekvatorun bir parçası, 1 ve 2 ise boylamların iki parçasıdır. Açılarının kaç derece olduğunu bana söyleyebilir misin?

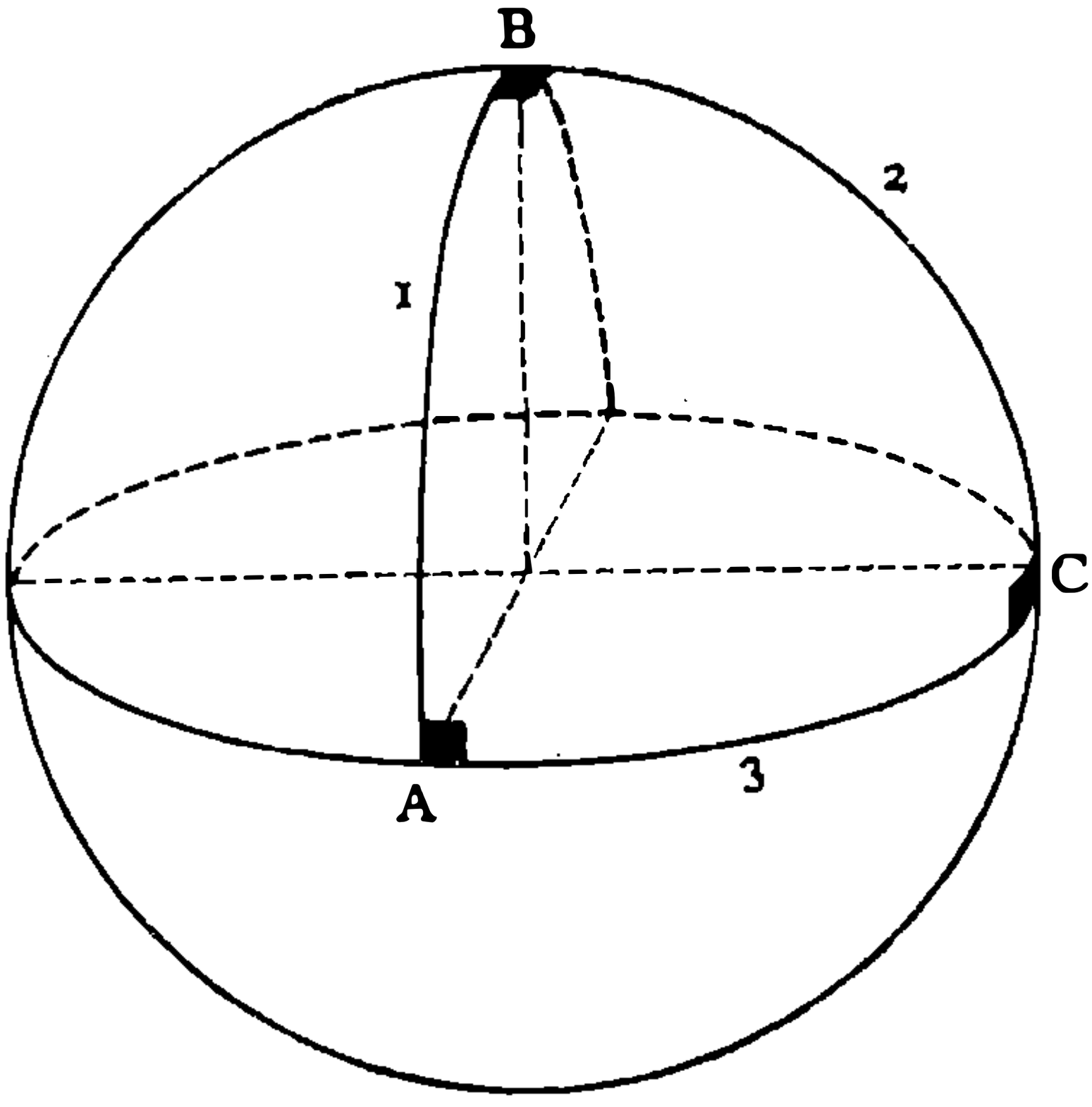
Menon: Üçü de bana birbirine eşit görünüyor ve herbiri doksan derecedir.

Sokrates: Toplamları ne eder?

Menon: Zeus kızmasın ama, bu 270 derece ediyor. Eukleides ise bu toplamın 180 derece etmesi gerektiğini söylüyor.

Sokrates: Öyleyse Menon, küre bir düzlemden burada ayrılıyor. O, Eukleides yüzeyi olmayan bir yüzeydir. Bundan başka iki büyük çemberin kesişmedikleri hiç bir zaman görülmez, öyle ki küre üzerinde paralel "doğrular" yoktur ve Eukleides'in beşinci postulası burada geçerli değildir.

[ŞEKİL — 16]

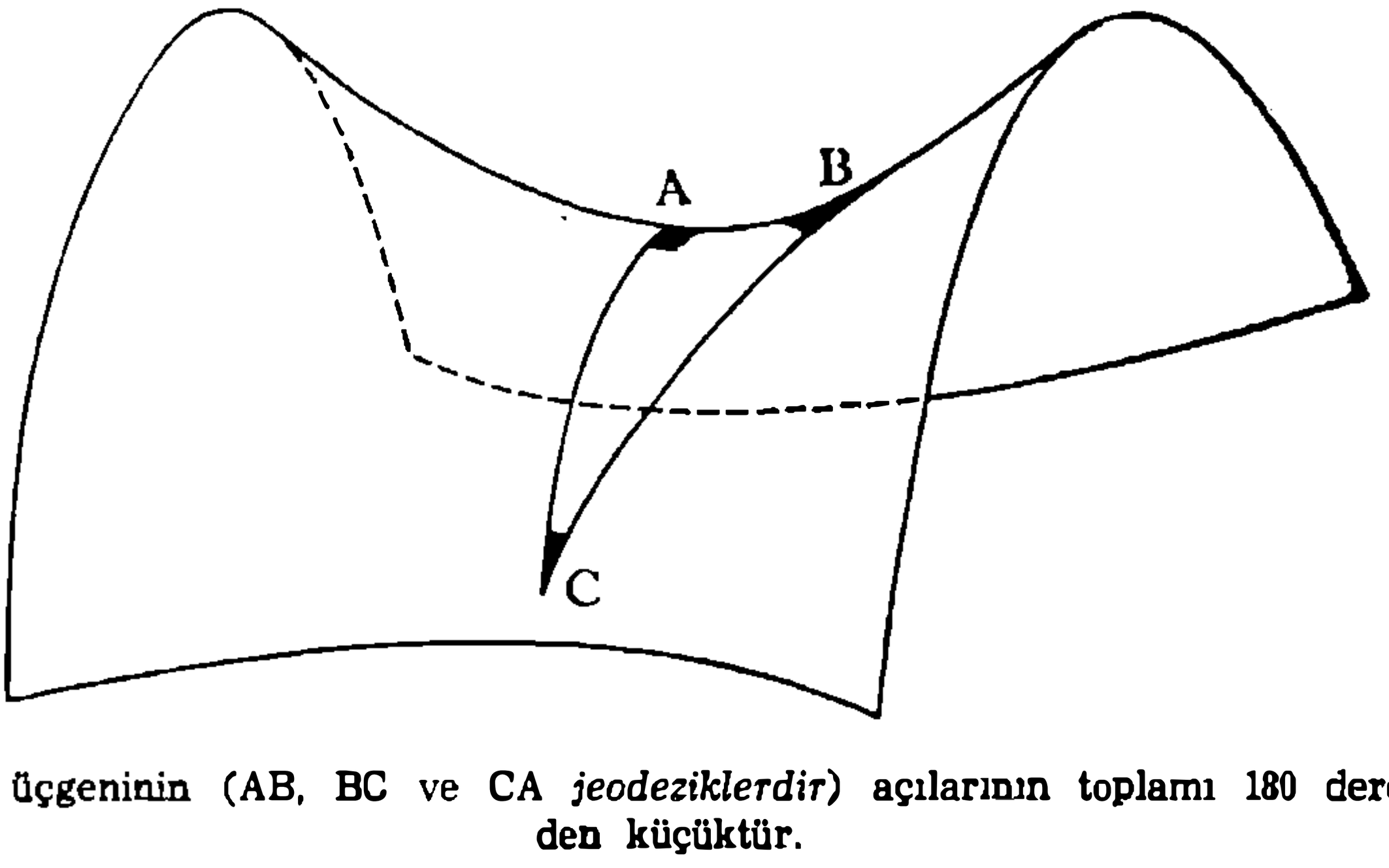


Bir üçgenin üç açısının toplamı 180 derece değildir.

Kuşkusuz, "doğruların", bir noktadan başka bir noktaya en kısa yol olarak tanımlanabileceği tek uzay küre değildir. Bir otomobil tamponu, dağlık bir bölgenin zemini, aynı usavurmanın yürütülebileceği iki boyutlu başka uzaylardır. Topoğrafyada böyle çizgiler, *jeodezik çizgiler* adını alır. Herhangi bir uzayda en kısa yolu gerçekleştiren bütün eğrilere bu genel adın verilmesi kararlaştırılmıştır.

Önemli olan şudur ki, küre, *eğri bir uzaydır,* bir tampon da böyle bir uzaydır. Jeodezik üçgenlerin açılarının 180 dereceden farklı olup olmadığına bakarak, uzaydan çıkmadan bu eğrilik ortaya konulabilir. Şekil 17, bir at eğeri şeklinde iki boyutlu bir uzayı göstermektedir, burada bir üçgenin açılarının toplamı 180 dereceden küçüktür. Daha sonra sezgiye dayanan bu eğrilik kavramı büyük bir önem kazanacaktır.

[ŞEKİL — 17]



ABC üçgeninin (AB, BC ve CA *jeodeziklerdir*) açılarının toplamı 180 dereceden küçüktür.

Böylece, matematikçiler gittikçe genel olan uzayları tanımladıkları ve inceledikleri ölçüde, görüldü ki, birçok saf matematik problemleri çoğu kez pek güç oldukları halde, bunları uygun seçilen bir uzaydaki bir geometri problemi haline getirince daha kolay bir şekil alabiliyorlar. Öyleyse,

genel uzay kavramı yalnızca mantıksal olmakla kalmıyor, verimli de oluyor, bunun da en iyi tanığı modern matematikçinin yararlanmaya alıştığı geniş uzaylar deposudur. Fazla aşırılığa kaçmadan denilebilir ki, bir avcının avına en uygun silahı ya da bir balıkçının en uygun oltayı seçmesi gibi, bugünün matematikçisi de bir problem karşısında kalınca, bu problemi çözebileceği en uygun uzayı seçer. Böylece insanların çoğu kendilerini çevreleyen ve Eukleides'in yasalarını koyduğu uzaydan başkasını tanımadıkları halde, insanlık, çok daha geniş, güçlü ve çok genel bir uzay kavramını eli altında bulundurmaktadır.

ÖZEL RÖLATİVİTE

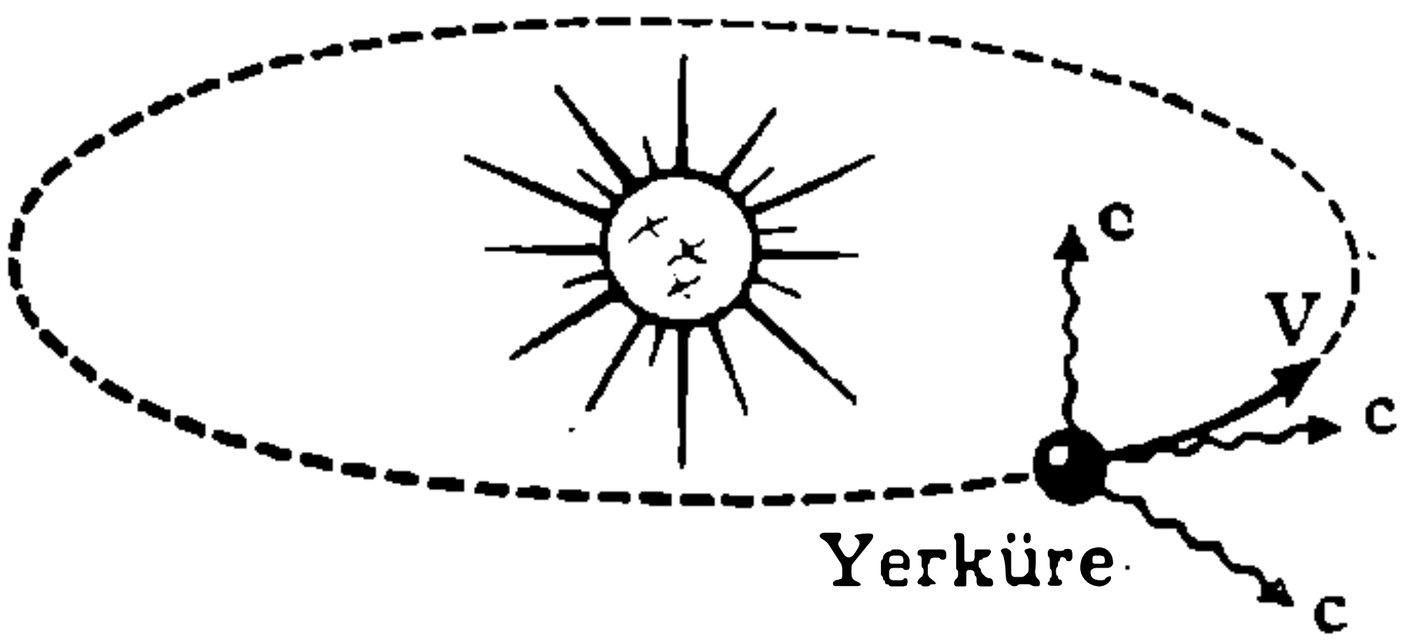
Bu sırada fizikçiler de boş durmuyorlardı. Çabalarının büyük bir bölümünü ışık ve elektriğin incelenmesine yöneltmişlerdi. Bir yandan ışığın hızı ölçülüyor ve, özellikleri derinleştirildiğinde bir titreşim olayının sözkonusu olduğu anlaşılıyordu. Öte yandan elektrik ve manyetik kuvvetlerin özünü, bağlantılarını tanımayı öğreniyorlardı. Bu uzun buluşlar dizisi, John Clark Maxwell'in eliyle doruk noktasına vardı; bu fizikçi, hareket halindeki elektrik yüklerinin, elektrik alanı ve manyetik alanda dalga hareketleri yaratabileceklerini ve ışığın bu hareketten başka bir şey olmadığını gösterdi. Böylece, görünür ışığın dalgalarından farklı frekanslı dalgaların da bulunması gerektiğini keşfetti. Bu da, radyo dalgalarının ve ışık tayfının tümünün oluşturulması ve incelenmesi sonucunu doğurdu.

Öyleyse ışığın kendisi de hareket eden bir şeydi, ve nasıl bir gülleye ya da Aya dinamik yasalarını uyguluyorsak, ışığa da bu yasaları uygulayabilmeliydik. Lorentz ve Poincaré burada eğerin hayvanın sırtını yaraladığını ilk olarak gördüler. Yalın matematik düşüncelerle Maxwell denklemlerinin, optik yasaları ile elektrik yasalarının bu sentezinin,

Newton dinamiğinin çerçevesine giremediğini gösteriyorlardı. Öyleyse, ya Maxwell denklemlerini hoş olmayan bir şekilde bükmek, ya da Newton korsesini patlatmak gerekiyordu.

Devrimi başlatan olay, Michelson ile Morley'in, ışığın hızı ile ilgili olarak, gerçekleştirdikleri çok kesin bir ölçme deneyi oldu. Bu deney, bir laboratuvarda ölçülen ışığın hızının, ölçme anında, yeryüzünün uzaydaki hareketine hiç mi hiç bağlı olmadığını göstermek olanağını veriyordu. Buna karşılık Galilei'nin eylemsizlik ilkesinin sonuçları çözümlenince, böyle bir bağlılığın önlenemeyecek bir biçimde gerekli olduğu görüldü.

[ŞEKİL — 18]



Çeşitli yönlerde yolaldığına göre, ışığın farkını girişimlerle ölçerken, Michelson'la Morley, bu hızın (burada c ile gösterilen) aynı değeri koruduğunu ve yerkürenin yörüngesi üzerindeki V hızından etkilenmediğini gösterdiler. Gerçekte c, V'den 10.000 kat daha büyüktür.

Bilmeceyi çözen Einstein oldu. İlk adımı çok sade idi: Mademki diyordu, ışığın hızı bu hızı ölçmede kullandığımız aracın hareketine bağlı değildir, doğanın bu davranışını kabul edelim ve bunun sonuçlarının ne olduğuna bakalım. İlkönce, ölçme aracının hareketi ne olursa olsun, ışığın hızının gerçekten aynı olduğunu kabul edebilir miyiz? Önsel olarak bu konuda hiç bir şey bilmiyoruz, çünkü her şeyden önce, Yeryüzünün Güneş çevresindeki hareketinde ivmenin etkisi çok zayıftır, ve Michelson deneyinde bunu yakalamak

olanağı yoktur. Işığın hızını çok büyük ölçüde hızlanan bir füzede ölçebilseydik, hangi sonucu elde edecektik. Bunu hiç kimse bilmiyor. Öyleyse bu tutum, çözümlemeyi de basitleştirdiği için, düzgün bir hareketle birbirine göre yer değiştiren iki araç yardımı ile ölçülen ışık hızının her zaman aynı kaldığını varsayabiliriz. Kısaca optik yasalarının, böyle iki araca göre, aynı olduklarını kabul edeceğiz. Böylece buna karşılık alan teori, rölativite adını ya da özel rölativite adını aldı.

Varsayımının sonuçlarını çözümleyen Einstein, o zamana kadar mekaniğin en dokunulmaz olarak kalan ilkesini sarstı; bu, mutlak zaman ilkesi idi. Rölativite ilkesi doğru ise, diyordu Einstein, zamanın bir mutlak büyüklük olması olanaklı değildir. Saatini benimki ile ayar ettikten sonra bir yolcu, araba ile bir gezintiye çıkar ve ben evde kalırsam, onun dönüşünde ikimizin saati de sonuç olarak aynı zamanı gösterecektir. Bununla birlikte, o, gittikçe daha artan bir hızla gezinir ve hızı ışığın hızına yaklaşırsa, saatlerimizin gösterdikleri zaman arasında yavaş yavaş bir farkın ortaya çıktığı saptanacaktır. Bu fark hesaplanabilir, yolcunun saati evde kalanınkine göre daima bir miktar geri kalacaktır. Görülüyor ki, bu gecikmenin farkına varılması için yolcuyu taşıyan aracın hızının ışığınkine yakın olması gerekmektedir. Öyleyse günlük deneylerimizin böyle bir sonucu hiç bir zaman bize göstermemesinde şaşılacak bir şey yoktur.* Gerçekte, zamanı, bir ışık yayını ya da parçalanmaları için harcadıkları süre ile gösteren, atomlar ya da bazı elemanter parçacıklar gibi, küçücük yolcuların keşfi kaçınılmaz oluyordu. Onlara ışığın hızına yakın hızlar vermek mümkün olunca, rölativite ilkesinin Einstein tarafından önceden bildirilen sonuçlarını deneyle doğrulamak olanaklı oldu: hareket halindeki bir parçacık, hızı ışığınkine yaklaştığında, parça-

* Pek yakın bir geçmişte atomik saatleri uçakla taşıyarak bu sonuç doğrulandı.

lanması için, on, yüz, bin kat daha fazla zaman harcayabiliyordu.

Zaman mutlak değilse, uzayla zamanı kesin olarak farklı iki varlığa ayırmak olanağı yoktur. Gerçekten de hareket, uzayda, zamanın akışı ile yakalanan bir yer değiştirmedir; ama zamanın akışının kendisi de hareketin hızına, yani uzayda aşılan uzaklığa bağlıdır. Zamanın akışının, onu ölçen saatin hareketine bağlı olduğunu belirtmek koşulu ile, uzayla zamanın özel rölativitesinden sözetmekte devam edilebilir. Bununla birlikte, burada matematikçinin görüşü ortaya çıkıyor, uzayla zamanı (matematik anlamda), dört boyutlu bir tek uzayda birbirine bağlanmış olarak düşünmek, buna uzay-zaman adını vermek daha elverişlidir. Kısaca, bir matematikçiye göre, rölativiteyi anlama tasarısı, bir balık avcısının bir tavşan yakalama tasarısına benzetilirse, uzay ve zaman kavramlarını ayrı ayrı kullanmak tıpkı tavşan avında bacaklarını ve bir kepçeyi kullanmaya benzer: gerçekten de ilkece bu yolla bir tavşan yakalamak olanağı vardır. Uzay-zaman kavramını kullanmak ise bu av için bir av tüfeği kullanmaya karşılıktır. Rölativite ortaya çıktığı zaman, binlerce yıllık düşünme alışkanlıklarını o derece altüst ediyordu ki, birçokları, o zamana kadar pek başarılı görünen balık kepçesini saklamak istediler. Daha az koşullandırılmış olan sonraki kuşaklar av tüfeğini kolayca benimsediler.

Özel rölativitenin dinamik sonuçlarına ve özellikle, bunun sonucu olan ve kütleyi enerjinin bir şekli sayan tanınmış $E = mc^2$ bağıntısına ilerde yeniden dönmek fırsatını bulacağız. Şimdilik büyük ölçüde, uzay ve zamanın yapısına dalmak istiyoruz.

RÖLATİVİTE VE GRAVİTASYON

Çok kısa bir süre içinde, Einstein ile bazı başka fizikçi ve matematikçiler, Newton dinamiğinin yasalarını, rölativite

teorisine uyacak şekilde formüle ettiler. Ama gravitasyon sorununa gelindiği zaman, bu uzun tırmanmada yeni bir engel ortaya çıktı.

Çeşitli sonuçlar arasında özel rölativite, hiç bir işaretin, hiç bir fizik etkinin ışıktan daha hızlı yayılamayacağını öngörmektedir. Şimdi, ışık, Yerküreden Aya gitmek için bir saniye, Güneşten Yerküreye gelmek için sekiz dakika, bir galaksiden bir diğerine gitmek için milyonlarca yıl harcamaktadır. Böyle olunca Newton'un kullandığı ve uzaklığa bağlı olmayan bu kuvvet nedir? Yerkürenin Ay üzerine yaptığı etki, olabildiği kadar hızlı, yani ışık kadar hızla yolalabiliyorsa, kuvveti belirleyen uzaklık, etkinin çıkış anında Yerküreyi Aydan ayıran uzaklık mıdır, yoksa etkinin Aya varış anındaki uzaklık mıdır? Her şey bir yana bu etki nedir?

Burada da Einstein tam anlamı ile gravitasyon sorununu çözümlemekle işe başlamadı, ama dinamiğin ilkelerini daha da derinleştirdi. Anımsanacaktır ki, özel rölativite kuruluşken, ışığın hızının, birbirlerine göre düzgün bir hareketle yer değiştiren bir gözlemciler takımı için aynı olduğu kabul edilmişti. Gözlemcinin hareketindeki herhangi bir ivme, önsel olarak, onun evreni tanıma ve anlama biçimine etki yapabilir. Bu ivme acaba nasıl işe karışacaktır? Bu soruyu yanıtlamak için, yalnızca mantığa dayanmak gerekir. Çünkü bu türlü etkileri deneysel biçimde açığa çıkarmak çok güçtür.

Burada da Einstein soruna, en yalın ve en kestirme yönünden girişmiştir. Sonsuz sayıda olanaklar içinde bir ivmenin etkisinin ne olabileceğini araştıracak yerde, o, asıl ivme yokluğunun nasıl belirtilebileceğini arayalım diyordu. Başka bir deyişle, Galilei'nin eylemsizlik ilkesine yeni bir açıdan bakalım. Özel rölativiteyi kurarken, birbirlerine göre hepsi düzgün bir hareketle yer değiştiren bir gözlemciler takımı için ışık hızının aynı değeri taşıdığı kabul edilmişti.

Ama, bu olanaklı gözlemcilerden bir tanesinin hangisi olduğunu belirtecek güçte miyiz? Yeryüzünde bulunan bir gözlemci kuşkusuz işimize yaramaz, çünkü Yerkürenin Güneşe göre ivmeli bir hareketi vardır, Güneşin de Galaksiye göre ivmeli bir hareketi vardır, bu sonuncusunun da öteki galaksilere göre ivmeli bir hareketi vardır... Kendisi için ışığın hızı, özel rölativitenin istediği bu değişmez değeri alabilen bir gözlemcinin hangisi olduğunu belirtmek bu kadar güç olduğuna göre, bundan vazgeçilebilir, ve böyle, bir tek gözlemcinin bulunmadığı kabul edilebilir, ama bu, özel rölativiteden ve onun başarılarından da vazgeçmek olur. Bundan daha ağır ve etkili bir yol da, herhangi bir gözlemcinin bu işi görebileceğini, ivmeli olsunlar ya da olmasınlar, bütün gözlemciler için *fizik yasalarının aynı göründüğünü* varsaymaktan ibarettir.

Bu olanak son derece sade görünüyor: "İstisnasız, bütün gözlemciler için fizik yasaları aynı şekilde formüle edilir." Bunun daha önce ortaya konmadığına şaşılabilir. Ama bunu uygulamak için, fiziğin matematik biçimselliğini bir derece daha karmaşık bir düzeye yükseltmek gerekiyordu. Yol göstericimiz olan matematikçiye dönersek, şimdi dinamiği daha karmaşık bir uzay dilinde, eğriliği olan bir uzay-zaman dilinde ifade etmek uygun olacaktır.

Örneğin, *uzay-zamanı* bir topun yüzeyine benzeten örneklerin, yalnızca eğriliği olan bir uzay değil de bir *uzay-zaman*ın sözkonusu olduğunu belirtmemek gibi bir sakıncaları vardır. Bu demektir ki, uzayla zaman istedikleri kadar birbirlerinden ayrılmaz olsunlar, bunlar hiç de aynı şey değildirler!

Bütün gözlemciler aynı değerde ise, bir hareketlinin nedeni olmayan bir hareketi nasıl ayırdedeceğiz? Hangi gözlemci bu hareketin doğru çizgi üzerinde ve düzgün olduğunu görebilecek ve böylece Galilei'nin eylemsizlik ilkesini sağlayabilecektir? Öyle görünüyor ki, bu sorun, kendileri için

ışık hızının temel değer olduğu özel gözlemciler bulmak sorununun aynıdır. Şimdi, gördüğümüz gibi, bütün gözlemciler bu soruya "burda" karşılığını veriyorlar. Ama belli ki, kendileri ivmelendirilebilirlerse, bütün gözlemcilerin, nedeni olmayan bir hareketi, doğru çizgi üzerinde ve düzgün görmeleri olanaklı değildir. Bize bu kadar yolaldıran eylemsizlik ilkesinden vazgeçmemiz mi gerekecektir?

Einstein bundan vazgeçmiyor, ama bunu daha iyi anlamaya çalışıyor. Her şey bir yana, doğru çizgi üzerinde hareket diyen elbette doğru çizgiyi kabul eder, bu ise eğriliği olan bir uzayda düşünülemez. Düzgün hareket diyen, eşit akan bir zamanı varsayar, bu kavram ise herkes için aynı değildir. Ama "doğru çizgi üzerinde" ve "düzgün" kavramlarını özel rölativitede birleştirme olanağı vardır. Özel rölativitenin uzay-zamanı, bir dereceye kadar, ilk üç x, y, z koordinatları bir olayın uzaydaki yerini belirleyen ve dördüncü t koordinatı ise bu olayın meydana geldiği anı gösteren, dört boyutlu bir Eukleides uzayına benzer. Böylece kurulan uzay-zaman, trenlerin yürüyüş tablosunu göstermek üzere demiryolu şirketlerinin hazırladıkları grafiklere benzer, şu farkla ki, burada uzayın üç koordinatı vardır, halbuki bir tren için bir tek koordinat yeter, çünkü tren belirli raylar üzerinde yolalır.

Bu halde düzgün ve bir doğru çizgi üzerindeki hareket, bu gösterişte, yani uzay-zamanda bir *doğru çizgiye* karşılıktır. Özel rölativitede eylemsizlik ilkesi şöyle söylenebilir: "Üzerine hiç bir kuvvetin etki etmediği bir cisim uzay-zamanda bir doğru çizgi üzerinde hareket eder."

Ama doğru çizgi diyen, çoğu kez, en kısa yol demiş olur. Bu durumda, eylemsizlik hareketinin uzay-zamanda belli bir uzaklık biçiminin en küçüğünü gerçekleştirdiği söylenemez mi? Evren uzaklığı adı verilecek olan bu yeni uzaklık, oldukça soyuttur ve bunu, hesap dışında, başka türlü gözönüne getirmek güçtür. Denebilir ki, kendi haline bıra-

kılan bir cismin hareketi o türlü olur ki, herhangi bir gözlemci için bir yer değiştirmenin t zamanının karesi ile bu yer değiştirmenin s büyüklüğünün c'ye oranının karesi arasındaki fark (yani $t^2 - \frac{s^2}{c^2}$) en küçüktür.

Bu yeni biçimde eylemsizlik ilkesini, eğriliği olan herhangi bir uzay-zamana göre genelleştirmek kolaydır: eğriliği olsun ya da olmasın, böyle bir uzay-zamanda iki olayı ayıran Evren uzaklığını önceki büyüklüğe benzer biçimde tanımlamak olanaklıdır (bu iki olay, örneğin A ve B gibi iki cismin karşılaşması ve sonra A cisminin bir C cismi ile karşılaşması olacaktır).

Fiziğin temel ilkeleri olarak şunları kabul ediyoruz:

1. Fizik yasaları her gözlemciye aynı görünür.

2. Kendi haline bırakılan bir cisim, uzay-zamanda, bir olaydan öteki olaya geçerken en kısa evren uzaklığını aşar.

Şimdi, gravitasyon teorisinin anahtarı işte budur: gerçekten, gravitasyon etkisi altında kendi haline bırakılan bir cismin hareketlerinde, ivmeli hareketler bulmayı bekleyebiliriz. Ama 2. ilkenin ifadesi bu cismin kütlesini hesaba katmıyor, öyleyse bu hareket kütleye bağlı değildir. Daha önce Newton gravitasyonunun temel bir özelliğinin, kütlesi ne olursa olsun, gravitasyonun etkisi altında bir cismin aynı harekete sahip olduğunu söylemiştik. Gravitasyonun etkisi altında kalan bir cismin ise, eğriliği olan bir uzay-zamanda, kendi haline bırakılan bir cisimden başka bir şey olmadığını söyleyerek iki görüşü birleştirebiliriz. Gerçekte, Einstein ile birlikte, ikinci ilkenin o zamana kadar Newton'un anlaşılmamış olan şu ilkesine eşdeğer olduğunu gösterebiliriz: "Eylemsizlik kütlesi, gravitasyon kütlesine eşittir." Bu ilke şimdi açık bir şekil almıştır, çünkü 2. şekilde tamamıyla genel olarak dile getirilen eylemsizlik ilkesinden başka bir şey değildir.*

* Eylemsizlik ilkesinin çok genel olan bu söyleniş tarzında, çekim kuvvet-

Öyleyse şimdi her gözlemciye göre aynı olan (genel rölativite adı buradan geliyor) ve gravitasyonu, uzay-zamanın eğriliğinin bir özelliği olarak yorumlayan bir dinamik elde etmiş bulunuyoruz. Bu aşamada daha önce ortaya atılan soruna dönebiliriz: Yerküre tarafından Ay üzerine uygulanan gravitasyon kuvveti nasıl belirlenmiştir? Bir ilk karşılık şudur: "Kuvvetten sözetmekten vazgeçiniz. Çünkü Ay, eğriliği olan bir uzayda kendi haline bırakılmıştır." Bu da gösteriyor ki, sorunu bu yolda sürdürmek gerçekten yerinde değildi. Şimdi uygun biçimde sorulacak olan soru şudur: "Ayın, içinde hareket ettiği uzay-zamanın eğriliği, Yerkürenin varlığı ile nasıl belirlenmiştir?" Einstein, uzay-zamanın yerel geometrisini Yerkürenin enerjisine, aynı şey demek olan, kütlesine bağlı olarak belirleyen en genel denklemleri vererek bir yanıt ileri sürmüştür.

Özellikle, Merkürün hareketindeki düzensizliği olduğu kadar, ağır bir kütlenin yakınından geçen ışığın hareketini işe karıştıran başka birkaç deneyi açıklayarak bu denklemlerin bazı sonuçlarını sağlamak olanağı elde edilmiştir; bunlardan bazıları Yerkürede deneylerle, bazıları Güneşin yakınından geçen ışık üzerinde ya da beyaz cüceler denilen çok yoğun yıldızlardan gelen ışıklar üzerinde doğrulanmıştır.

Şu anda, genel rölativite teorisi, fiziğin kuvvet çizgilerinden birini oluşturmaktadır; bunun böyle oluşu ona özel olan buluşları deneyle sağlamaktan çok, onun, fiziğin bütününe bir iskelet gibi yerleştirdiği mantıksal birliktendir. Şimdi ulaştığımız noktayı belirtmek zahmete değer:

Her gözlemci, cetvellerle ya da daha geliştirilmiş araçlarla uzaklıklarını ölçtüğü bir uzayla, akışını gökbilimsel, atomik ya da başka saatlerle ölçtüğü bir zamanı çok doğal olarak birbirinden ayırır. Yerel ölçüler içinde kaldığı sürece

leri ilkenin içindedir. İlke, şu şekilde söylenebilir: "Gravitasyon kuvvetinden başka hiç bir kuvvete bağlı olmayan bir cisim, eğriliği olan bir uzay-zamanda, aşılan Evren uzaklığını minimum yapacak şekilde yer değiştirir."

(örneğin oldukça küçük galaksiler arasındaki uzaklıklardan küçük uzaklıklar), uzay, *pratik olarak* ona Eukleides uzayı gibi görülür, ve bütün gözlemcilerin birbirine göre hızları küçük ise, zaman onlara mutlak bir şey gibi gelir.

Uygulamada ise zaman ve uzaklık ölçümleri, gözlemcinin hareketine bağlıdır. Buna göre, ister istemez yerel olarak kabul edilen tek bir gözlemci ile yetinilmek istenmezse ve gözlemcilerin tümü gözönüne alınmak istenirse, araştırılabilecek şeylerin tamamını dört boyutlu bir uzay-zaman olarak ele almak durumunda kalınır.

Gerçekte, bu uzay-zaman Eukleides uzayı olmayıp, eğriliği olan bir uzay-zamandır. Gravitasyon burada ne kadar kuvvetli ise, eğrilik o kadar fazladır. Burada fizik yasaları bütün gözlemciler için aynıdır, özellikle ışığın hızının değeri, serbest düşüşle hareket eden bütün gözlemciler için aynıdır. Çekim kuvvetinden kurtulmak olanağı bulunmadığına göre, eylemsizlik ilkesi, çekimden başka hiç bir kuvvete bağlı olmayan hareketliler için formüle edilmiştir. Böyle bir cismin hareketi, uzay-zamanın geometrisi tarafından belirlenir.

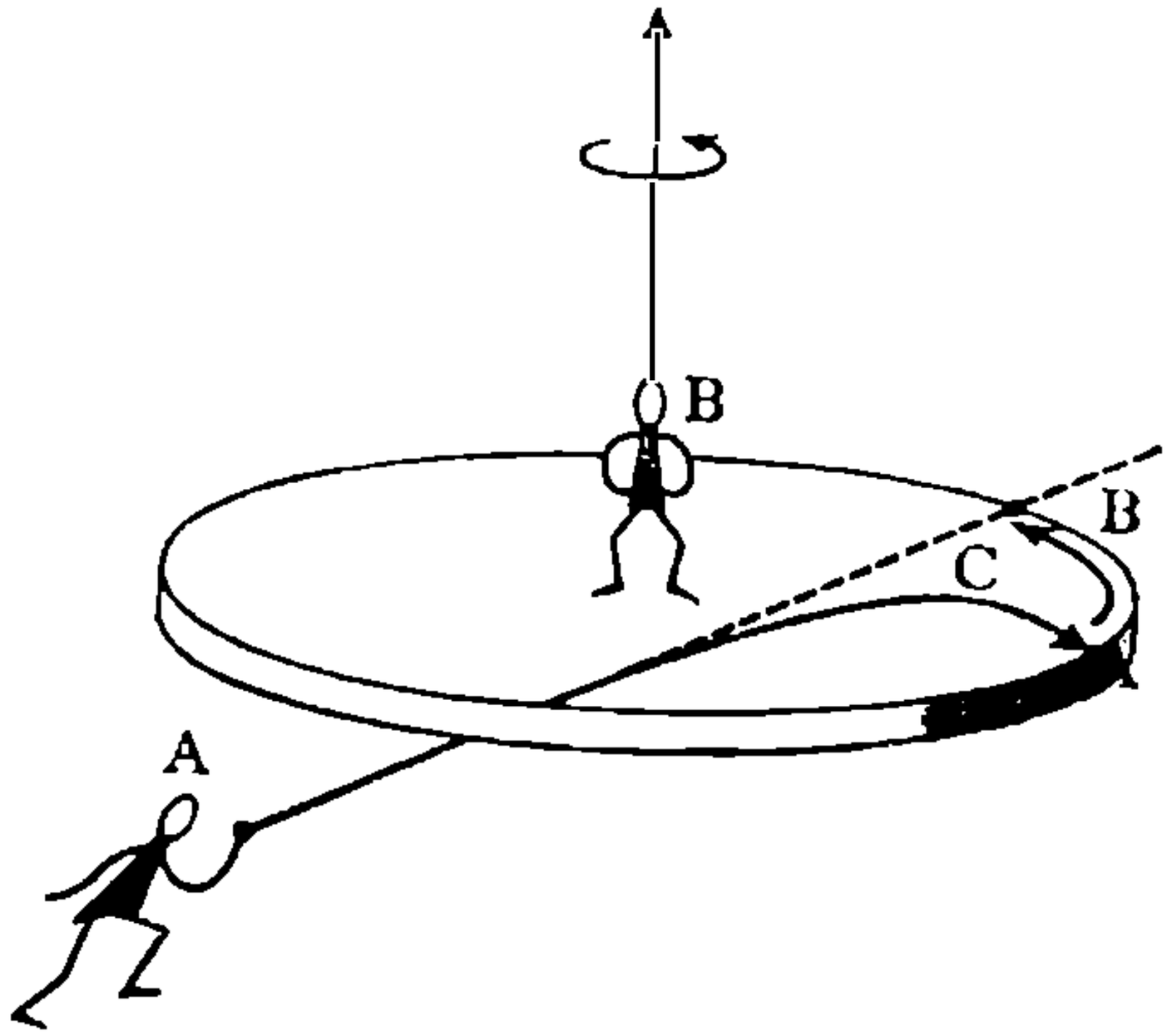
En sonunda bu geometrinin kendisi, bu eğrilik, Evrenin enerji bakımından içeriği ile ve bu enerjinin dağılışı ile belirlenmiştir.

Not: Eşdeğerlik ilkesi

Burada, işe karıştırıldığı biçimde Evren uzaklığı kavramı, sezgi ile yapılabilecek usavurmalara yer bırakmayacak kadar matematikseldir. Çoğu kez *eşdeğerlik ilkesi*ne dayanmak daha kolaydır; bu ilke, kendi haline bırakılan bir cismin, uzay-zamanda en küçük evren uzaklığını aştığı gerçeğini dile getirmenin başka bir şeklidir.

Eşdeğerlik ilkesini bir örnek üzerinde belirtelim: Yeryüzünde bulunan bizler, bir elmanın ağaçtan sabit bir ivme ile düştüğünü görürüz.* Fiziğe meraklı bir kurdun, serbest dü-

[ŞEKİL — 19]



İvmeli bir gözlemcinin içinde bulunduğu uzay-zamanın eğriliğinin gösterilmesi. B gözlemcisi dönen bir plak üzerindedir. A kendi bakımından Galilei ilkesine uyan ve bir doğru çizgi çizen bir taş atıyor. Resmin sağındaki C eğrisi, taşın, dönen plak üzerinde bulunan B tarafından izlenen yörüngesini gösteriyor. Bir gezegen üzerinde yer alan ve böylece ivmeli olarak hareket eden bir gözlemci için, uzay, eğri gibi görülür. Bunun dönen plak durumundan farkı, Galilei taşını attıktan sonra onun yörüngesini bir doğru olarak gören hiç bir gözlemcinin bulunmamasıdır. Gerçekte, bir çekim kuvvetine bağlı olmayan bir cismin bulunduğu bir tek Evren noktası yoktur. Bunun, uzay-zamanın içten eğri olması sonucunu doğurduğu gösterilebilir. Gravitasyonun etkileri ne kadar şiddetli ise uzay-zaman da o kadar fazla eğridir.

şen bir elmanın içinde bulunduğunu düşünelim. Elması (laboratuvarı) düştüğü sürece, kurt çekim dışındadır: Öyleyse, bu kurt, yerkürenin çekim alanı içinde bulunduğunu bilemez. Eşdeğerlik ilkesi bunu genelleştiriyor: çekimin etkilerinin, laboratuvarın iyice belirlediği ivmeli bir hareketin etkilerine eşdeğer olduğunu dile getiriyor. Bu ilke her yerde uygulanamaz; çünkü belli bir zaman sonra elma yere çarpacak ya da yerkürenin merkezine ulaşacak ve bu iki halde de kurdun görüşü ile bizimki arasında bir fark ortaya çıkacaktır; ama bu ilke sınırlı bir bölgede sınırlı bir zaman için geçerlidir

* Masalını Gauss'un şöyle anlattığı, Newton'un bilinen elması sözkonusu değildir; Gauss şöyle diyor: "Bir gün, bir geveze, düşüncelerini nasıl elde ettiğini sorarak Newton'u rahatsız ediyordu. Ondan kurtulmak için Newton kendisine elma masalını anlattı."

(bu sınırlama, eşdeğerlik ilkesinin evrenbilimde işe yaramadığı sonucunu doğurur). Bu ilkenin üstünlüğü, ivmeli bir laboratuvarda bulunan bir gözlemcinin, yaptığı deneyleri düşünerek, genel rölativitenin sonuçlarından birkaçını anlama olanağını sağlamasındadır.

UZAYIN EVRİMİ SORUNU

Genel rölativite çerçevesinde, uzay-zaman geometrisi ve bunun sonucunda uzay geometrisi, bundan ne anlaşıldığı kesinlikle gösterilirse, iyice belirlenmiş demektir. Uzayın yapısını soruşturmak herkesin harcı değildir, çünkü hiç bir şey uzayın sıradan, yani Eukleides uzayı olduğunu bize göstermez. Evrenin gelişmesini zaman içinde araştırmak doğaldır, çünkü genel rölativite, özü bakımından, Evreni uzay-zaman birliği içersinde kavrar, öyle ki, Evrenin gelişmesi onun betimlenmesinden ayrılamaz.

Öyleyse, *uzayın gelişmesini* incelemek, genel rölativiteyi Evrenin tümüne uygulamaktır. Bu, ilke olarak olağandır, çünkü, Evrenin enerji bakımından içeriği onun geometrisini belirler. Bu içerik hakkında gözlemle elde edilen bazı bilgilerimiz vardır.

Her zaman olduğu gibi, gerçek bir cismi matematik bir betimleme ile incelemek sözkonusu olduğu zaman, sorunun verilerini derinlemesine değiştirmeksizin, matematik çözümlemeyi kolaylaştırmaya yarayan bazı sadeleştirmeler yapmaya zorlanırız. Böylece elde edilen sade soruna *model* adı verilir.

Ele aldığımız konuda, maddenin yıldızlar ve galaksiler olarak dağılışı önce bir yana bırakılır; onun ortalama kütle yoğunluğu galaksilerinkine eşit olan, tekdüze bir akışkan gibi dağıldığı varsayılır. Galaksiler arasındaki uzaklıklar, Evrenin yayılır göründüğü uzaklıklara göre küçük olduğundan, böyle bir yaklaşım akla-uygundur ve çözümün sonuçları-

nı önemli ölçüde bozmaması gerekir.

Gözlem, bize, bir sadeleştirmeyi daha düşündürmektedir. Galaksilerin dağılışını ya da bize ulaşan (X ışınlarına kadar olan alçak frekanslı radyo dalgaları) çeşitli biçimlerdeki ışımaların dağılışını gözlediğimiz zaman, gökyüzünün hiç bir bölgesinde, hiç bir ayrıcalıklı doğrultunun bulunmadığı ve temelde iyi dağılmış bir yayılmanın varolduğu görülür. Bu durumda Yeryüzünden bakılınca Evrenin içeriğinin *izotrop** olarak göründüğü söylenir. Bazı ışımalarda bu izotropluk, büyük bir kesinlikle, bindebir mertebesinde doğrulanmıştır.

Başka yerlerde böyle olmadığı halde, insanı gözeten bir raslantı sonucu, bizim, Evrenin izotrop olarak göründüğü çok elverişli bir bölgeye yerleştirilmiş olmamız pek az bir olasılık gösterir. Böylece, genel olarak, bir gözlemcinin bir galaksi üzerindeki yeri ne olursa olsun, onun kendi görüş açısından Evreni yine izotrop olarak görmesi gerektiği kabul edilir. Bu varsayım, matematik formülleştirmede dile getirilirse *izotrop modeller* sınıfı elde edilir.

Olan şudur ki, izotrop Evren modelleri, onları bütün modellerden ayırdeden sade ve temel bir özelliğe sahiptirler. Gerçekten burada, bir *mutlak zaman* tanımını yapmak olanağı vardır.

Özel rölativite sözkonusu olduğunda bir yana atılan mutlak zamanın, genel rölativitenin aşırı bir uygulaması halinde yeniden ortaya çıktığını görmek insanı şaşırtabilir. Aslında burada Newton'un mutlak zaman kavramı sözkonusu değildir. Şimdiki durumda galaksilerde, ayrıcalıklı gözlemcilerin yer aldığı kabul edilir. Galaksilere göre büyük bir hızla yer değiştiren Einstein'ın hayalî gözlemcilerini işe karıştırmadan, kendimizi yalnız bu tür gözlemcilerle sınırlandırırız. Sözünü ettiğimiz zaman, yalnızca ayrıcalıklı gözlemcilerin

* *İzotrop*: Bu deyim Yunanca *izo* (eşit), *tropos* (doğrultu)'dan kurulmuştur; izotrop bir ortamda bütün doğrultular eşdeğerlidir.

ölçtükleri zamandır. Bu zaman, şu anlamda mutlaktır ki, çeşitli gözlemciler Evrende aynı ayırdedici nitelikleri ortak olarak gördükleri, özellikle, aynı yerel galaksi yoğunluğu ya da ışıma yoğunluğunu gözledikleri anda saatlerini aynı zamana ayarlamayı kararlaştırabilirler. Açıktır ki, böyle bir uzlaşma, ancak gözlemciler için birbirine benzer durumlar gerçekten varolduğu sürece olanaklı olabilir. Bu da ancak izotrop bir evrende görülür.

Mutlak bir zamanı böylece tanımlayınca, uzay-zamanı yeniden uzay ve zaman koordinatlarına bölebiliriz. Bütün yerel gözlemcilerin aynı saate ayarlandıkları, yani aynı galaksiler ve ışıma dağılımını gördükleri uzay-zaman kesimine, şimdi *uzay* diyeceğiz. Alışık olduğumuz uzay gibi (bu zaten aynı uzaydır), bunun da üç boyutu vardır. Küçük ölçüde, nispeten küçük uzaklıklar araştırıldığı sürece (bu uzaklıklar her şeye karşın yüz milyonlarca ışık yılına kadar gidebilir), uzayın pratikte özellikleri, Eukleides uzayının özellikleridir. Burada paralel doğrular var gibi görülür; doğru çizgi çok yaklaşık olarak iki nokta arasındaki en kısa yoldur; bir üçgenin üç açısının toplamı 180°'ye son derece yakındır. Bununla birlikte daha büyük uzaklıklar için, yani uzayın şimdiki durumu ve milyarlarca ışık yılı mertebesindeki uzaklıklarla ilgilendiğimiz zaman, uzay, artık, zorunlu olarak, Eukleides uzayı değildir.

UZAYIN EĞRİLİĞİ

Einstein'ın denklemlerini izotrop bir Evren örneği için çözebiliriz. Bulunan sonuçlar kuşkusuz verilere, özellikle, belli bir anda Evrende bulunan enerji yoğunluğuna bağlıdır. Şimdi, tanımlanmış olan uzayın geometrisine gelince, genel olarak üç halin mümkün olduğu görülür.*

* Bu sonuçlar 1930 yıllarında elde edilmiştir. Bunları Einstein, Lemaître, Eddington, Tolman, Robertson, Walker ve Friedman'ın araştırmalarına borçluyuz.

En sade hal, uzayın üç boyutlu bir Eukleides uzayı olması halidir. Genel rölativite bu hali saf dışı bırakmıyor, uzay-zaman eğri olduğu halde uzay eğri olmayabilir.

Yine, küre durumunda olduğu gibi ve daha yukarda anlatılan eğriliğe sahip uzay örneğinde görüldüğü biçimde, uzay, eğri ama sonlu olabilir. Boyutların sayısını azaltarak, bunun, daha sade bir görüntüsü verilebilir: yıldızların, galaksilerin ve bizim, iki boyutlu ve yamyassı varlıklar olduğumuzu varsayalım. Bu koşullar altında, öğreneceğimiz geometri, çevremizin geometrisi, yani düzlem geometri, ya da başka bir deyişle iki boyutlu Eukleides uzayı geometrisi olacaktır. Evrenimizin kendisi ise iki boyutlu ve eğri bir uzay oluşturabilecektir. Onun izotrop olması, eğriliğin her yerde aynı olduğu anlamına gelir. Bu da, Evrenin, üzerinde galaksilerin, Yerkürenin ve bizim sığıştığımız bir küre yüzeyinden başka bir şey olmadığı sonucunu verir. Bu kürenin yarıçapı birkaç milyar ışık-yılı ya da daha fazla olacaktır ve bunun eğriliğini doğrudan doğruya saptayabilmemiz için, kısa ömrümüzün olanak vermediği aynı mertebeden uzaklıkları aşmamız gerekecektir. Nasıl uzay bize üç boyutlu bir Eukleides uzayı olarak görünüyorsa, yassı insanlar için de gerçek, bir düzlemde yer almış gibi görünecektir. Böyle bir uzay, Riemann uzayı adını alır. (Aslında Riemann çok daha genel uzaylar üzerinde çalışmıştır.)

Geometrinin Eukleides uzayı olmadığı ama uzayın Eukleides uzayı gibi sonsuz olduğu, üçüncü bir uzay sınıfı vardır. 19. yüzyıl matematikçileri, Eukleides geometrisini ve beşinci postulayı bir sorun olarak ele aldıkları zaman, önce Eukleides uzayı olmayan iki uzay sınıfını inceleme yoluna gittiler. Birincisi, üç boyutlu küreden başka bir şey değildir. Böyle bir uzayda, iki "doğru" daima birbirini keser ve sonuç olarak paralel yoktur. İlk olarak Rus Lobatçevski tarafından ileri sürülen ikincisi öyle bir uzaydır ki, burada, verilen bir doğruya bir noktadan sonsuz sayıda paraleller çizi-

lebilir. Bununla birlikte bu birçok bakımdan Riemann uzayına benzer: özellikle izotroptur. Teknik bir dil kullanırsak, kürede olduğu gibi pozitif değil negatif ve sabit bir eğriliği olan bir uzay sözkonusudur. İki boyutlu Lobatçevski uzayının tamamıyla sadık bir görünümünü, üçboyutlu Eukleides uzayında yer alan bir yüzeyle göstermek olanaklı değildir. Böyle olunca, bunu, Riemann uzayı için yaptığımız gibi, yassı kişilerle görünür bir hale getirmek olanak dışıdır.

İzotrop bir Evrende olanaklı üçüncü uzay sınıfı, üç boyutlu Lobatçevski tipinde bir uzaydır.

Birbirinden bu kadar açıkça ayrı olan olanaklı bu üç uzay sınıfını görünce, hemen şu soru ortaya çıkıyor: içinde yaşadığımız uzayın gerçek yapısı nedir? Eukleides uzayı mıdır, Riemann tipinden midir ya da Lobatçevski tipinden midir?

Bu soruya ilke olarak, deney yolu ile karşılık verilebilir. Gerçekten uzay-zaman geometrisi, Einstein denklemleri kullanılarak, içeriği ile belirlenmiştir. Uygulamada izotrop bir uzay için, Einstein denklemleri, Evrenin tüm genişlemesini, ondaki enerji yoğunluğuna bağlamaktadır. Bu yoğunluk ise kütlelerin ve özellikle uzaydaki galaksi kütlelerinin dağılmasından başlayarak hesaplanabilir. Bu iki tür nicelik arasında, yani kütle ve dağılma arasında bulunan bağlantı, açıkça uzayın geometrisine bağlı olduğundan, sağlanan oranlara göre bundan uzayın biçimi çıkarılabilir.

Bu program gerçekleştirilmiştir. Burada bazı kesinsizlikler vardır, çünkü kütle yoğunluğu hesabında, Evrenin ışıklı olmayan ama ağırlığı bulunan bir parçasının unutulup unutulmadığı her zaman düşünülebilir (örneğin hidrojenin yakalanamayan biçimde hipotetik bir dağılışı), olanaklı olan bu çeşitli parçaları gözden geçirmek ve gözlemin onlara dolaylı olarak koyduğu sınırları belirlemek yerinde olur. Uygulamada, ikisi dışında, bütün bu olanakları ortadan kaldırmak olanaklı olmuştur; bunlardan birinin olasılığı özellikle çok azdır; bu da Evrende karanlık cisimlerin bir dağılımının bu-

lunduğudur. İkincisi, galaksiler arasında büyük miktarda *iyonlaşmış* bir maddenin yer aldığını varsaymaktır. Gerçekten de bunun böyle olduğunu düşünme olanağı vardır. Bu olanakları bir yana bırakırsak, şu sonuca varırız: *Evrenimiz Lobatçevski tipinde olmalıdır.* Bu, özellikle onun sonsuz olması demektir.*

GENİŞLEME VE GENEL RÖLATİVİTE

Genel rölativitenin, zorunlu olarak, uzay-zamanı kendi bütünlüğü içersinde ele aldığını ve buna göre uzayın evrimini de kapsadığını belirtmiştik.

Bu gelişmenin ne demek olduğunu bilmek için en kolay yol galaksileri, esas olarak, uzayda birtakım noktalar gibi düşünmektir. Bir galakside bulunan gözlemciler için, atom fiziğini nicelik bakımından tanımlamaya yarayan temel sabitlerin değişmez olduklarını kabul edeceğiz. Bu, Planck sabitini, elektronun kütlesi ile yükünü ve ışığın hızını kapsar. Galaksiler arasındaki uzaklıkları ölçtükleri zaman, bu gözlemciler, elde ettikleri sonuçları atomik birimlere bağlarlar. (Örneğin, uzunluk birimi, uzun zaman, Sèvres'de Breteuil pavyonunda saklanan bir iridyumlu platin çubuğu idi; bunun uzunluğu platin ve iridyumun atomik özelliklerine bağlanmıştı. Şimdi yeni birim, kadmiyum atomunun çıkardığı bir ışımanın dalga uzunluğudur, bu da atom fiziği tarafından belirlenmiştir.) Böylece gökbilimsel uzaklıkları atomik birimlerle karşılaştırarak gözlemciler, değişiklikleri yakalayabilirler. Başka bir görüş, doğrudan doğruya deney sonuçlarına dayanmak ve genel rölativite modellerinin galaksiler tayfının kırmızıya doğru sistemli bir yer değiştirmesini öngörüp görmediğine bakmaktan ve olayın pratikte ne anlama gelebileceğini düşünmekten ibarettir.

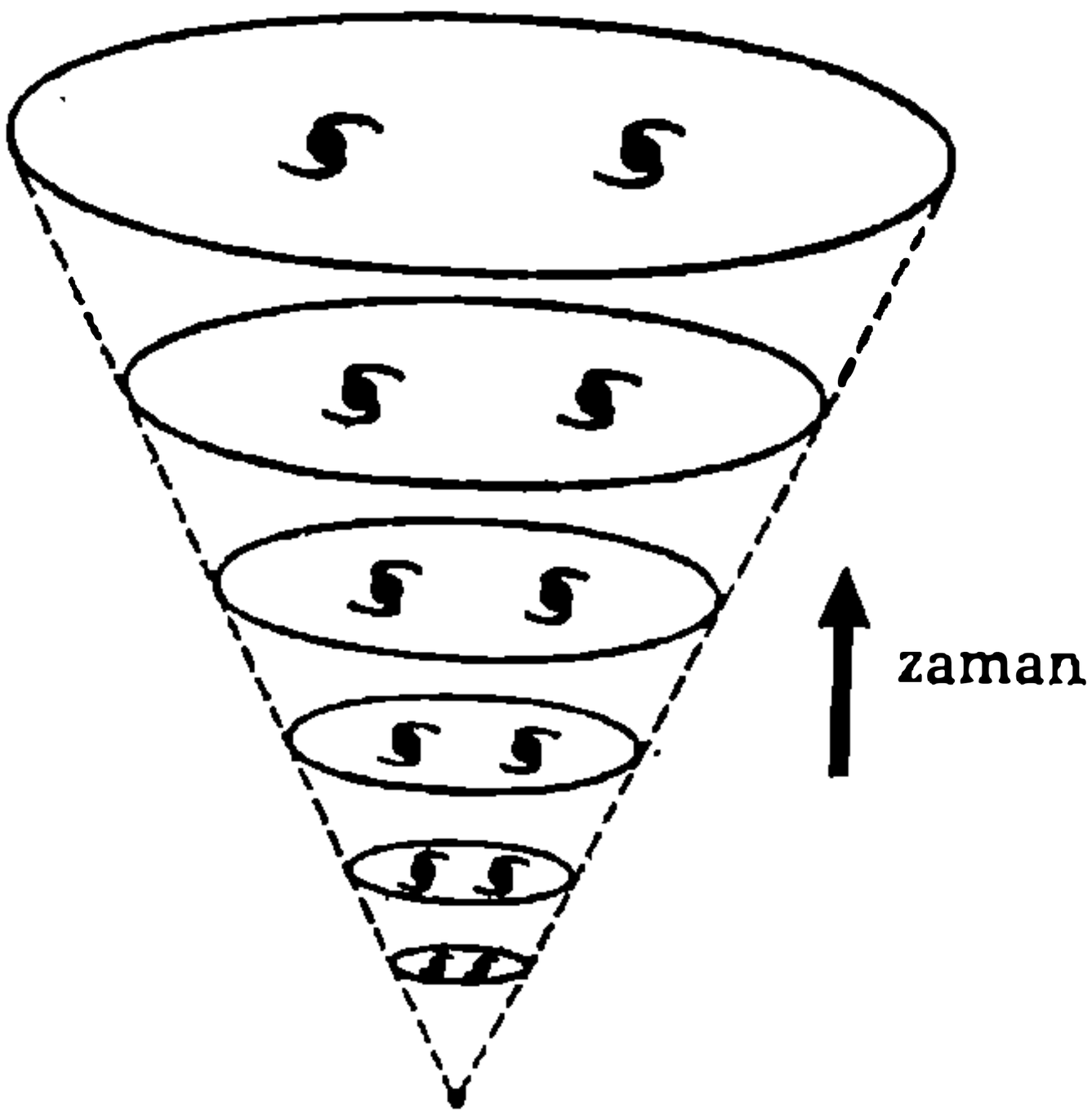
Teorik olarak, Evrenin bütün modellerinde, gelişmelerinin

* Evrende çok sayıda nötrinolar ya da gravitonlar varsa, bu sonucu yeniden gözden geçirmek gerekecektir.

bir devresi boyunca, galaksilerin tayflarının kırmızıya doğru sistemli olarak yer değiştirdikleri bulunmaktadır, bu da ancak her durumda *Evrenin bir genişleme* halinde olmasına bağlanabilir. Başka bir deyişle atomik birimlerle ölçüldüklerinde, galaksiler arasındaki uzaklıklar zamanla artmaktadır.

[ŞEKİL — 20]

GENİŞLEME



İki boyutlu küresel bir uzayın genişlemesi. Burada iki galaksinin arasındaki uzaklığın artması ve bir uzay parçasının büyümesi gösterilmiştir.

Öyleyse genişleme, gerçekten uzayın bir büyümesine, yani atomik birimlerle ölçülen bir bölgenin boyutlarının sistemli olarak artmasına karşılıktır.

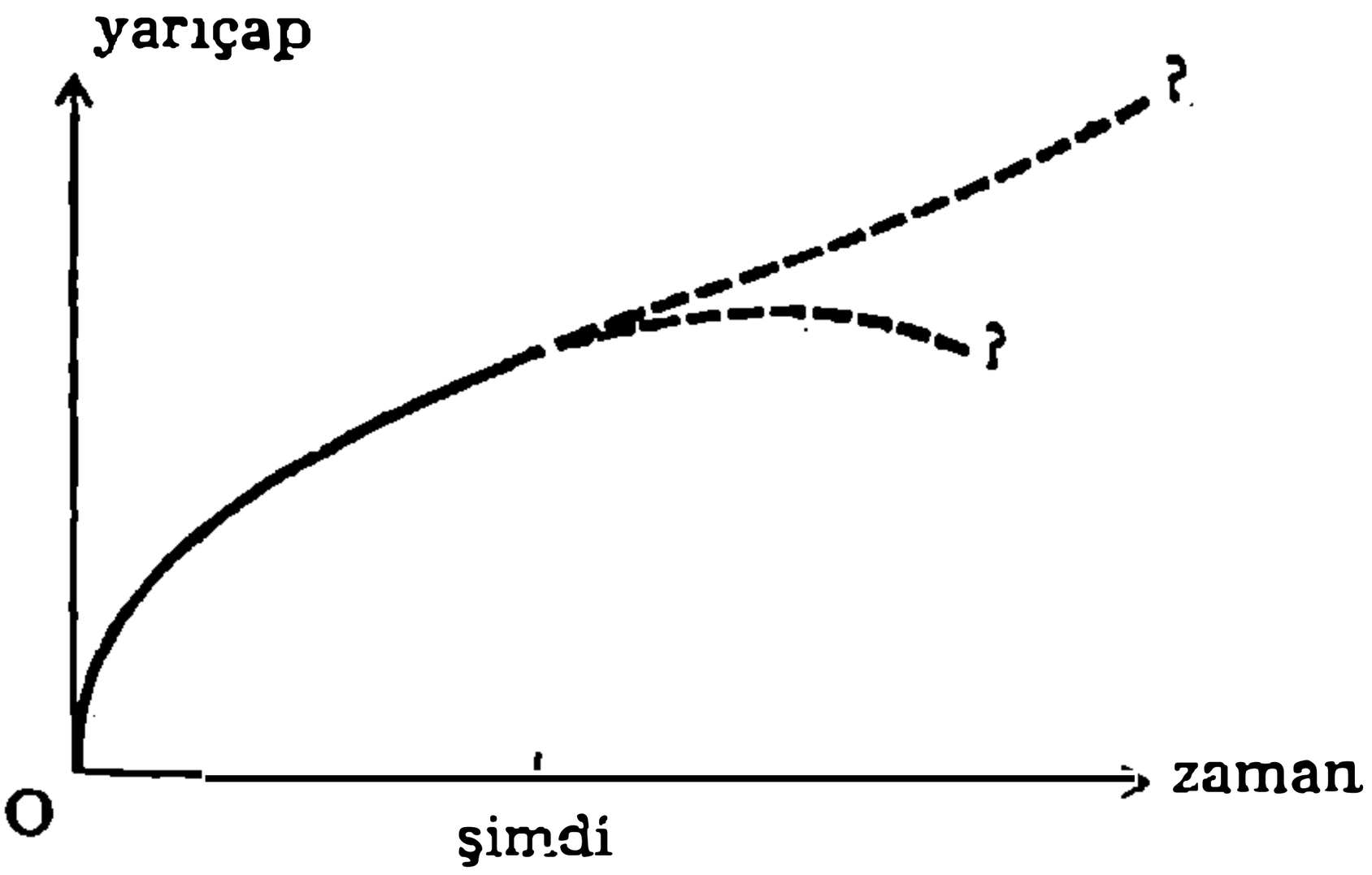
Einstein denklemleri, şimdiki durumu hesaba katarak, ilke olarak Evrenin gelecekteki gelişmesinin ne olması gerektiğini önceden söylemeye olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, şimdiki durumu belirleyen ölçülerdeki önlenmez yanlışlar, Einstein denklemlerinin çözümünün özelliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle denklemlerin ifadelerine giren ve burada Newton'un evrensel çekim sabitinin oynadığı

role oldukça yakın bir rol oynayan ve kozmolojik sabit adını alan bir büyüklük vardır. Uygulamada bu büyüklük birbirine çok uzak iki kütlenin karşılıklı etki yasalarını belirlerken, Newton sabiti bu yasayı küçük uzaklıklar için belirlemektedir. Kozmolojik sabit hakkındaki bilgimiz hiç de kesin değildir, çünkü bunu hesaplamak için büyük uzaklıklarla ilgili ve önemli derecede yanlışları bulunan pek çok gözlemleri işe karıştırmak gerekmektedir. Toplam olarak bu yaklaşıklıklar hesaba katıldıkları zaman, tahminler yapmanın ve özellikle, gelecekte Evrenin bir büzülme devresinin beklenip beklenemeyeceğini bilmenin olanaksız olduğu görülür. Ne olursa olsun, şimdiki genişleme aşamasının daha birçok onlarca milyon yıl süreceğini beklemek uygun olur.

Buna karşılık Einstein denklemleri, geçmiş hakkında çok kesin sonuçlar elde etmeye olanak sağlar. Bunun nedeni şudur: Evrende şimdiki kütle yoğunluğuna, kozmolojik sabite ve hatta uzayın geometrisine ait kesinsizlikler, geçmişe doğru gittikçe daha az önemli bir rol oynamaktadırlar. Gözlemin getirdiği bütün bilgiler hesaba katıldığı ve bunlar, genişle-

[ŞEKİL — 21]

UZAYIN BİR PARÇASININ YARIÇAPININ KOZMİK ZAMANLA DEĞİŞİMİ



Bu yarıçap santimetre olarak ölçülmüştür (atomik boyutlara bağlı olarak). Noktalı çizgiler belirsiz büyümeyi ve yeniden büzülmeyi gösteriyor.

menin geçmişteki akışını belirtecek biçimde Einstein denklemlerine eklendiğinde, görünüşte önlenemez olduğu kadar olağan dışı bir sonuca varılır. Geçmişin uzak bir devresinde, maddenin yoğunluğu ile uzay-zamanın eğriliği sonsuzdu. Bu anın zamanını tam bir kesinlikle söyleyemeyiz, ama bunun geçmişte altı ile onbeş milyar yıl arasında bulunduğu, en olası değerin on milyar yıl olduğu söylenebilir.

Olayı en iyi canlandırabilecek olan, yine Riemann Evreninin durumudur. Zaman içersinde geriye doğru gidildikçe, iki boyutlu modelimizde, uzay küresinin yarıçapı gittikçe küçülmektedir, burada madde sürekli olarak darlaşan bir hacme sıkışmaktadır; sonunda tarihin sıfır zamanına varılır ki, bu anda bütün Evren bir toplu iğne başı kadardır. Bir Lobatçevski uzayında, böyle göze çarpan bir görüntü yoktur, ama sonuç aynıdır. Gerçekte çok küçük zamanlar için, uzayın geometrisi pek önemsiz bir rol oynar.

Bu sonucun, bazı sadeleştirici varsayımların yanıltıcı bir sonucu olup olmadığını kendi kendimize sorabiliriz. Sonunda evrensel bir zamanın varlığı, tam olamayan bir izotropluk özelliğinden geliyordu. Bununla birlikte durum böyle görünmüyor. Temel bir araştırmada, İngiliz Penrose ve Hawking, Evrenin gelişmesi, kendi bütünlüğü içinde incelendiği zaman, "tekilliklerin" varlığının önüne geçilmez bir olay olduğunu kesin bir şekilde göstermişlerdir. Genel halde bu tekilliklerin alabileçekleri biçimler çok çeşitlidir ve kurgubilim yazarlarına yeni konular verebilir: izotrop modelin gösterdiği gibi sonsuz eğrilik ve yoğunluk halleri dışında, Evrenin, zaman çizgilerinin kapandığı ve böylelikle aynı olayların sonsuz defa yinelenmesine yolaçtığı ve bir başka uzay-zaman ile çakıştığı durumlarla karşılaşılabilir. Toplam olarak izotropluk bir yana bırakılsa bile, bir ya da birçok "başlangıç tekillikleri"nin varlığına ait sonuçlardan kuşku duyulması olanaksız görünüyor.

Daha Augustinus o zaman bile soruyu ortaya atmıştı:

"Yaratmadan önce Tanrının ne yaptığını soranlara ne karşılık vermeli?" Evrenin sıfır zamanından önce ne olduğunu soranlara ne diyeceğiz? Genişlemeden önce sonsuz olarak büzüldü mü? Hiç bir şey bilmiyoruz. Gerçekte sıfır zamanından önce yer alan olayın, bu devrenin koşullarına dayanabilecek hiç bir izi kalmadığına göre, büyük bir olasılıkla hiç bir zaman da bilemeyeceğiz.

Her yanlış anlamayı önlemek için, zamanın bir başlangıcının varlığını söyleyebileceğimiz koşulları iyice belirtelim: her şeyden önce genel rölativitenin, kendi bütünlüğü içersinde, evrenin tanımına gerçekten uygulanabileceğini kabul etmek gerekir. (Bir sıfır zamanı olanağına karşı düşünen bazı yazarlar, genel rölativiteyi yadsımayı ya da değiştirmeyi yeğlediler.) Sonra uzayın izotrop olduğunu kabul etmek gerekir, aksi halde, başlangıç zamanı, uzayın bölgelerine göre değişebilir görünür. Burada temel bir sorunun sözkonusu olduğunu ve bir sürü olanakların karşısında bulunduğumuzu gizlememeliyiz. Bununla birlikte *bilgilerimizin şimdiki çerçevesi içinde* zamanların bir başlangıcının varlığı, olsa olsa en sade ve en doğal varsayım olarak kalmaktadır. Kaldı ki, bunun dikkate değer deneysel doğrulamalarının bulunduğunu göreceğiz.

DURAĞAN TEORİLER

Bazı teoriler, zamanların bir başlangıcı olduğunu zorunlu olarak kabul etmeden de galaksi tayflarının kırmızıya doğru yer değiştirmesi görüngüsünü açıklamak eğilimindedirler.

Uzun süre en çok tutulan bu tür bir teori, İngiliz Bondi, Gold ve Hoyle tarafından ileri sürülmüş, ve durağan Evren teorisi adını almıştır. Bu teori, genişleme ile, Evrenin başlangıcı olmadığını varsayan görüşü uzlaştırmaya çalışır.

Burada genişleme, uzay-zamanın davranışında gerçek bir görüngü diye kabul edilmiştir. Bundan başka bu teori, Evrenin, görünüşte, bütün noktalarında ve bütün zamanlar-

da pratik olarak aynı kaldığını ileri sürer. Bu iki koşulun uzlaştırılabilmesi için sürekli olarak iş başında bulunan ve madde üreten bir mekanizmanın varolması gerekir. Bu üretim, maddenin yoğunluğunu olduğu gibi korur, aksi halde genişleme sonucu olarak bu yoğunluk gitgide azalacaktı.

Bu konuda bazı noktaların belirtilmesi gerekiyor:

Maddenin üretilmesi mekanizması çok yavaş olmalıdır, çünkü genişlemenin oluştuğu zamanlar süreci çok büyüktür. Bu büyüklük ise, elemanter parçacıkların üretiminin çok zayıf oluşunun bir sonucudur, çünkü bu üretim çok büyük teorik güçlükler doğurmaktadır. Burada, yalnızca protonlarla elektronların mı, yoksa nötronların ve hatta karşı-parçacıkların mı yaratılması sözkonusudur diye soruşturulmuştur. Bu üretimin hangi bölgelerde gerçekleşebileceği sorunu da ortaya atılmıştır. Gerçekten de böyle bir üretim, keskin bir biçimde, çok büyük ve çok küçük ölçekteki görüngüler arasında yer alan bağlantı sorununu ortaya çıkaracaktır.

Gerçek şudur ki, böyle bir oluş genel rölativite ile uzlaşamaz.

Bir başka teori, Dirac tarafından ortaya atıldı. Burada atomik birimler cinsinden ölçülen galaksiler arası uzaklıkların artmasının, atomik uzaklıkların zaman boyunca bir azalmasından ileri geldiği düşünülüyor. Planck etkisinin sabiti, elektron yükü ya da kütlesi gibi değişmez saymaya alıştığımız büyüklükler zamanla değişiyorlarsa böyle bir sonuç ortaya çıkabilir. Kaldı ki, bu teori, rölativite yapısında bir genişlemenin başka bir sonucunu da olanak dışı bırakmamaktadır.

Ama öyle bir görüngü vardır ki, bu teorileri çürütür gibi, hiç değilse büyük güçlüklerle karşılaştırır gibi görünüyor: Bu görüngü evrensel ısı ışımasıdır.

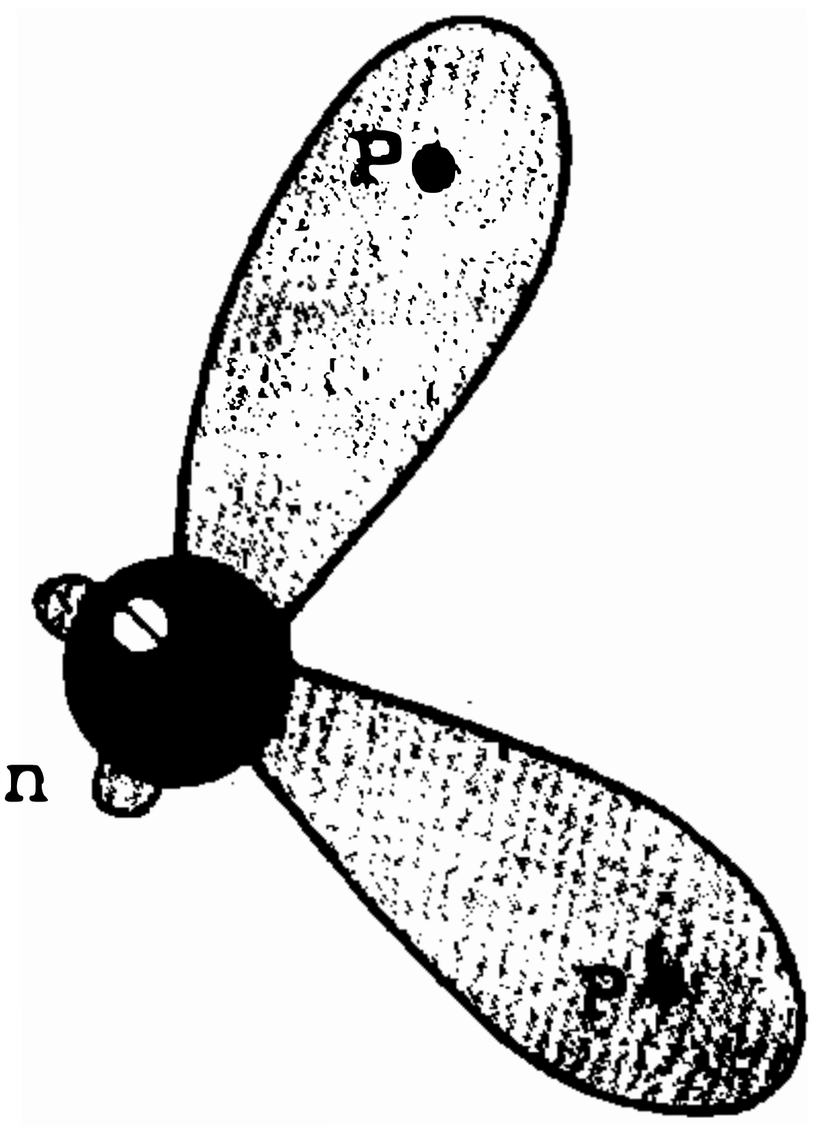
Bunu açıklamak için genel olarak bir ısı ışımasının ne olduğunu, ve böylece geriye dönerek ısı ve sıcaklık ile ilgili bazı temel kavramları belirtmek gerekir.

Isının, enerjinin pek çok türlerinden ancak bir tanesi olduğu 19. yüzyıldan beri bilinmektedir. Biraz su ısıtmak için elektrik enerjisi ya da kent gazını yakarak kimyasal enerji kullanmak gerekir. Belki daha az genel olarak bilinen, bu enerjinin su içinde hangi biçimde depo edildiğidir.

Bir sıvı ısıtıldığında olup biteni anlamak için suyu gittikçe küçülen bir ölçekte görebildiğimizi, ister elektronik olsun, hiç bir mikroskobun bize veremeyeceği kadar bir büyültme elde edebildiğimizi ve suyun moleküllerini görmeyi başardığımızı düşünelim. Bunun için yüz milyon mertebesinde büyütmeleri elimizde bulundurmamız gerekecektir ki, bu halde, bir su molekülü, bize, boyu santimetre mertebesinde olan karmaşık biçimde bir cisim gibi görünecektir. Bu molekül, içinde hidrojen çekirdeklerini barındıran ve iki ayakçığını uzatan ağır bir küre (oksijen atomu) gibi karşımıza çıkacaktır (şekil 22). Buna daha yakından bakarsak yalnızca elektronlardan oluşan daha küçük başka iki ayakçık göreceğiz. Molekülün sürekli görünmesi (şekil 23) kuantik bir görüngüdür: molekülde az sayıda elektronlar (hepsi on) bulunmakla birlikte, bizim bütün bilebildiğimiz onların belirli bir yerde bulunmaları olasılığıdır, şekil 23'te çizilen de bu olasılığın dağılışıdır.

[ŞEKİL — 22]

SU MOLEKÜLÜ

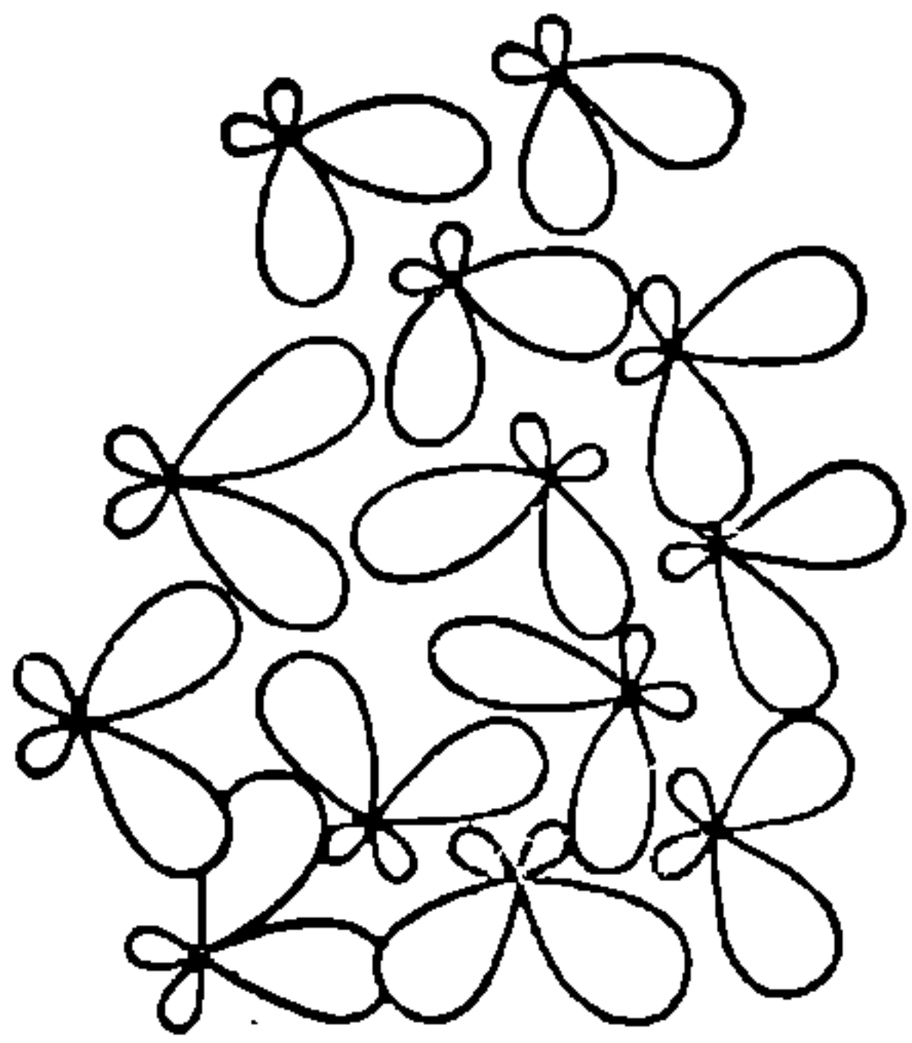


Burada oksijen, (proton p ile gösteriliyor) hidrojenin çekirdekleri, kolları ve ayakçıkları ile elektronik bulutun biçimi görünüyor.

Sıvı halindeki suda bütün bu moleküller birbirlerine değmektedir. Varsayılan ideal büyütme sayesinde, en çok dikkati çeken, moleküllerin durmadan hareket etmeleridir: bunlar kendi üzerlerinde dönerler, birbirlerine çarparlar, buldukları pek küçük uzayın elverdiği ölçüde yer değiştirirler. Bazı moleküller arasıra diğer moleküllerden daha hızlı dönerler ama çok geçmeden, birbirleri ile çarpışmaları sonucu, yanlarındaki moleküller tarafından yavaşlatılırlar. Toplam olarak, suda, şuraya buraya yayılan ortalama bir hareket vardır ki, bu hareket, aşağıyukarı her tarafta aynı görünür.

[ŞEKİL — 23]

S U



Moleküller birbirlerine değiyor.

Suyun soğuduğunu düşünelim. O zaman moleküllerin hareket hızının azaldığı gözlenir. Su, yeteri kadar soğutulursa, elektronik ayakçıklar protonik ayakçıklara asılırlar. Daha sıvı halinde bile bu uzantıların birbirlerine bağlanmaları yönünde belli bir eğilimin farkına varılabilirdi, ama o zamana kadar çarpmalar, bu bağlantıları hemen parçalamıştı. Sıcaklığın yeteri kadar düşük olduğu şimdiki durumda moleküller birbirlerine bağlanırlar ki, bu hal, onların hareketini kuşkusuz önemli bir ölçüde kısıtlar. Artık su, buz olmuştur (şekil 24).

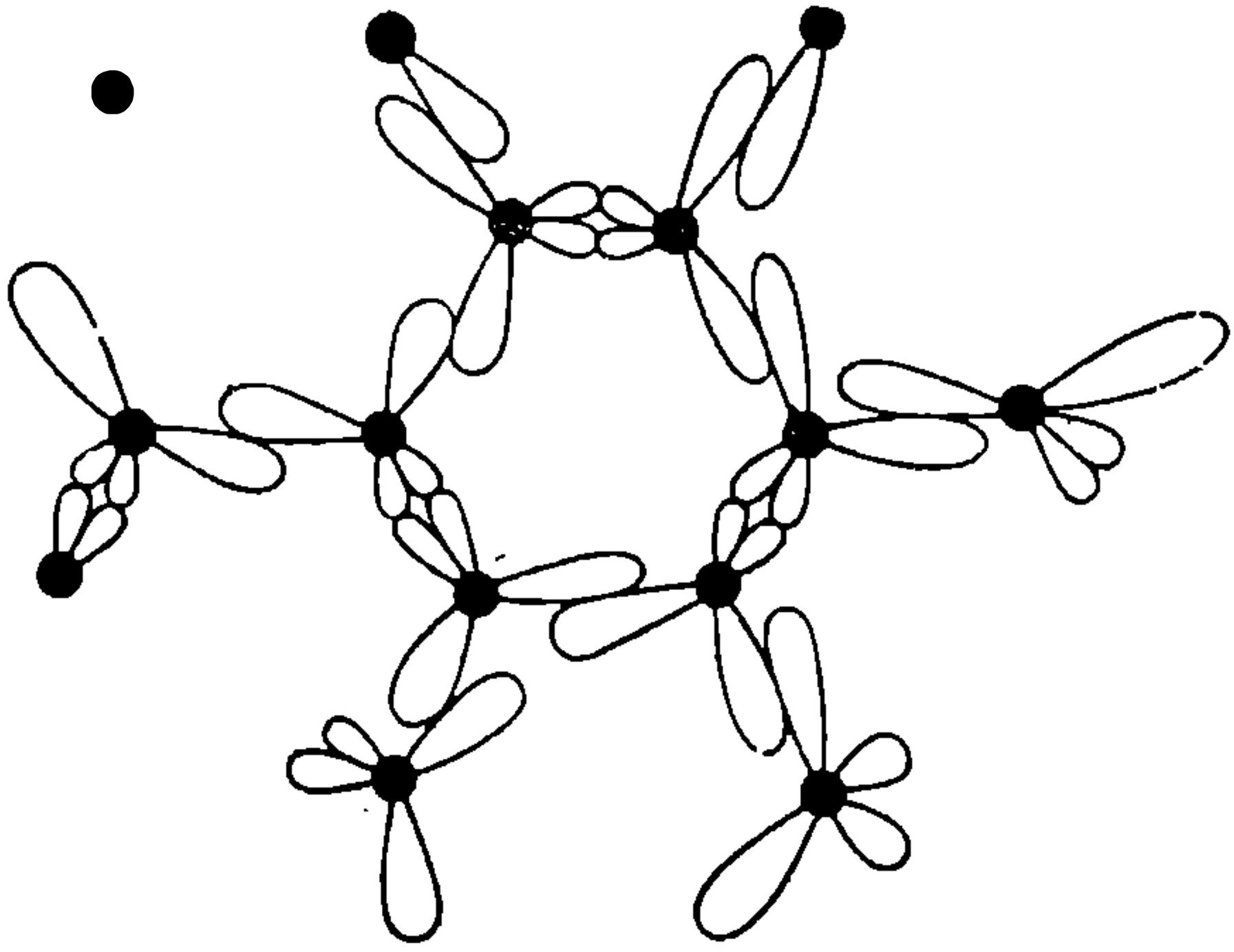
Bundan hangi sonucu çıkarmalı? Önce şunu: sıcaklık yükseldikçe moleküllerin sistemli hareketi şiddetlenir. Sıcaklık yeter derecede düşükse bu hareket, moleküllerin birbirlerine bağlanarak katı cisimler oluşturmalarını sağlayacak kadar zayıftır. Bu, donma görüngüsüdür.

Buzun oluşması su moleküllerinin birbirlerine bağlanabilecek güçte olduklarını gösteriyor. Isı hareketi çok şiddetli ise, moleküller birbirlerini çekmekte devam ederler, ama

bir yerde de duramazlar. Elektron ve proton kolları arasındaki bu karşılıklı çekim, sıvı halinin nedenidir. Gerçekten de, suyun yüzeyine daha yakından bakarsak, bunun, moleküllerin dağılmasında keskin bir süreksizlikten ibaret

[ŞEKİL — 24]

BİR BUZ KRİSTALİ İÇİNDE SU MOLEKÜLLERİNİN DURUMU



olduğunu görürüz, yüzeydeki moleküller en diptekilere çekim kuvvetleri ile bağlı kalırlar. Arasıra, yüzeydeki bir molekül çok sert bir darbe yiyince artık yerinde duramaz, uzaya fırlatılır. Böylece suyun yakınındaki bütün uzayda su buharını oluşturan birtakım bağımsız moleküller bulunur. Bu bağımsız moleküller de hareket halindedirler ve zaman zaman bunlardan biri yeniden sıvıya dalar ve orada tutsak kalır. Buhar içinde ve sıvı içindeki su molekülleri karşılaştırılırsa, dikkate değer bir özellik görülür. Bu hareketin enerjisi ortalama olarak aynıdır. Su içinde başka maddeler varsa (örneğin şeker molekülleri varsa), bir misline ya da daha yüksek mertebeye erişebilecek boy farklarına karşın, bütün mo-

leküller yeniden aynı enerji ile hareket ederler.

Bu görüngülerin mekanik ve olasılıklar teorisine dayanan sistemli bir çözümü bizi bazı temel düşüncelere götürüyor.

— Çeşitli maddeler birbirlerine değdikleri zaman moleküllerinin hareket enerjisi birbirleri ile eşit olmaya doğru gider, o zaman bu cisimlerin *ısı dengesi*nde oldukları söylenir.

— Moleküllerin gidip-gelme hareketlerinin enerjisi bir parametre ile nitelendirilir ki, buna sıcaklık denir. Uygulamada, orantılılık katsayısı bir yana bırakılırsa, sıcaklık, molekül başına ısı hareketinin enerjisinden başka bir şey değildir. Her türlü karışıklık tehlikesinin önlenmesi istenirse sıcaklık yerine ısı enerjisinden sözedilir, ama bu iki kavram eşdeğerdir: sıcaklığı ısı hareketi enerjisi ile ölçebiliriz.

Burada ısı hareketi durduğu zaman (kuantik etkiler bir yana) sıcaklığın sıfır olduğunu bildiren bir tanımın sözkonusu olduğu görülmektedir. Bu, mutlak sıfır denilen ve sıfırın altında −273 dereceye eşit olan bu sıcaklık değeri için meydana gelir. Sıcaklıklar mutlak sıfırdan başlayarak sayıldıkları zaman Kelvin derecesi olarak adlandırılırlar ki, bu derece, sıfır başlangıcı farklı seçilmek üzere, santigrat derecesine eşittir. Böylece, örneğin, 10 santigrat derecesindeki sıcaklık, 283 Kelvin derecesine eşit olur.

Bir maddeyi, örneğin suyu, gitgide yükselen sıcaklıklarda ısıttığımız zaman neler olduğunu kendi kendimize sorabiliriz. Moleküllerin ısı hareketi gitgide artar ve bunlar arasındaki çarpışmalar şiddetlenir. Ötekilerin çekiminden kurtularak sıvının yüzeyini delmek üzere yeterince hız kazanan daha çok sayıda moleküller görülür, öyle ki buhar şeklinde dışarda bulunan moleküllerin sayısı gittikçe artar.

Sıcaklık 100 dereceye ulaşınca büsbütün yeni bir görüngü ortaya çıkar: su kaynamaya başlar. 100 derecede moleküllerin hareketi o kadar hızlıdır ki, birbirlerini çekmeleri onları artık birarada tutamaz. O zaman, sıvının içinde moleküllerin kendiliğinden birbirlerinden ayrıldığı geniş bölgeler

oluşur: bunlar, sıvının yüzeyine çıktığı görülen buhar kabarcıklarıdır. Sıvı kaldığı sürece ısı hareketi, yani sıcaklık değişmez, çünkü gelen ısı, yani suya geçirilen enerji, yalnızca molekül bağlantılarını koparmaya harcanır.

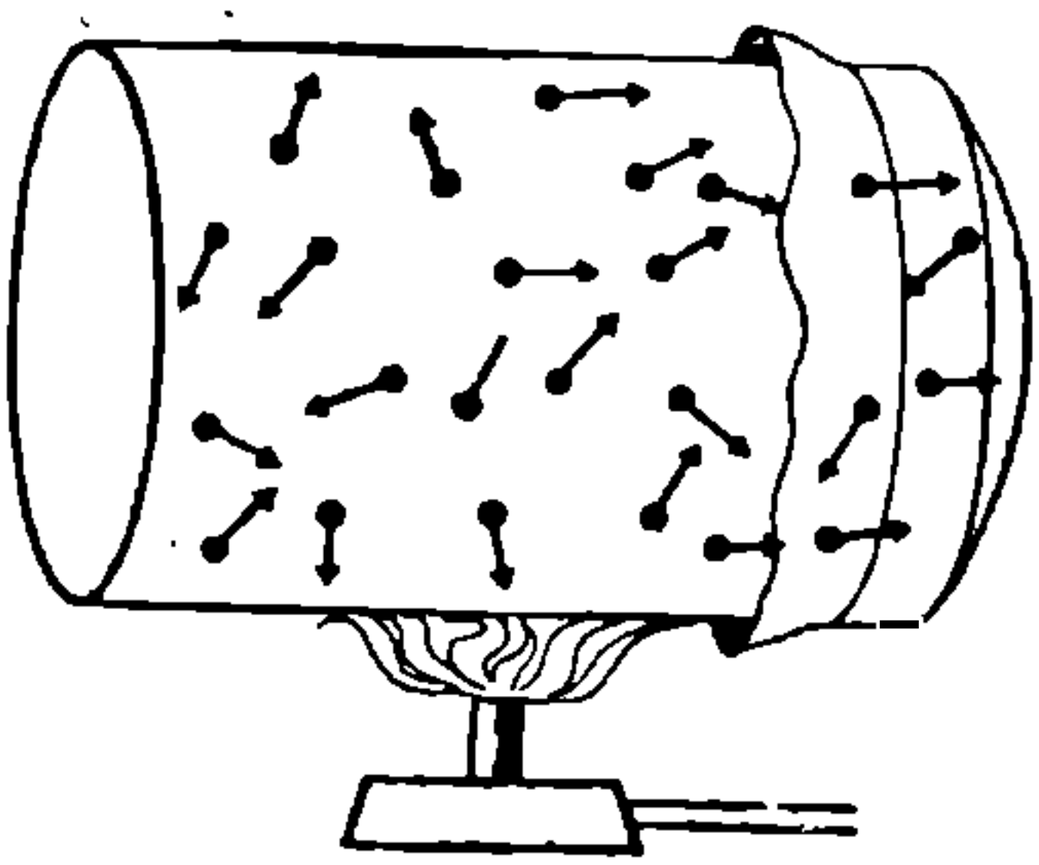
Kaynamanın sona erdiği bir an gelir. Su molekülleri arasındaki bütün bağlantı çözülmüştür ve bu moleküller tamamıyla dağılmışlardır, yani buhar halindedirler. Şimdi karşılarında daha geniş bir uzay bulunduğundan, moleküller daha çok uzaklara giderler, bazan birbirlerine ya da kabın çeperlerine çarparlar.

İşte çeperlere olan bu çarpmalardır ki son derece önemli bir görüngünün, *basınç* görüngüsünün kaynağıdır. Su buharının, bir deliği bulunan sert bir kap içinde bulunduğunu ve bu deliğin esnek bir bölme ile, örneğin bir kauçuk levha ile tıkandığını düşünelim.

Kauçuk levha, kabın iç tarafına bakan yüzünde, moleküllerin gerçek bir bombardımanı altında kalır, bu moleküller sıcaklık yüksek olduğu oranda hızlı hareket ederler. Kabın çeperlerine çarptıkça moleküller geriye fırlarlar ve bu sırada kauçuk levhayı iterler; bu, mikroskobik ölçüde ve çok sayıda pek küçük koç başlarının etkisinden başka bir şey değildir. Levhanın dış yüzü ise, su moleküllerinin bombardımanına karşı koyan hava moleküllerinin bombardımanı altındadır. Kabı ısıttığımız zaman su buharına enerji verdiğimizden, su buharı havayı alteder ve çeperi daha kuvvetle iter. Onun yaptığı *basınc*ın daha yüksek olduğu söylenir ve böylece esnek levha su moleküllerinin itmesiyle gerilir (şekil 25).

[ŞEKİL — 25]

B A S I N Ç



Basıncın çarpmalardan, yani hızlı cisimlerin (moleküller ya da parçacıklar) bir akımından ileri geldiğini akılda tutmak, ilerisi için yararlı olacaktır.

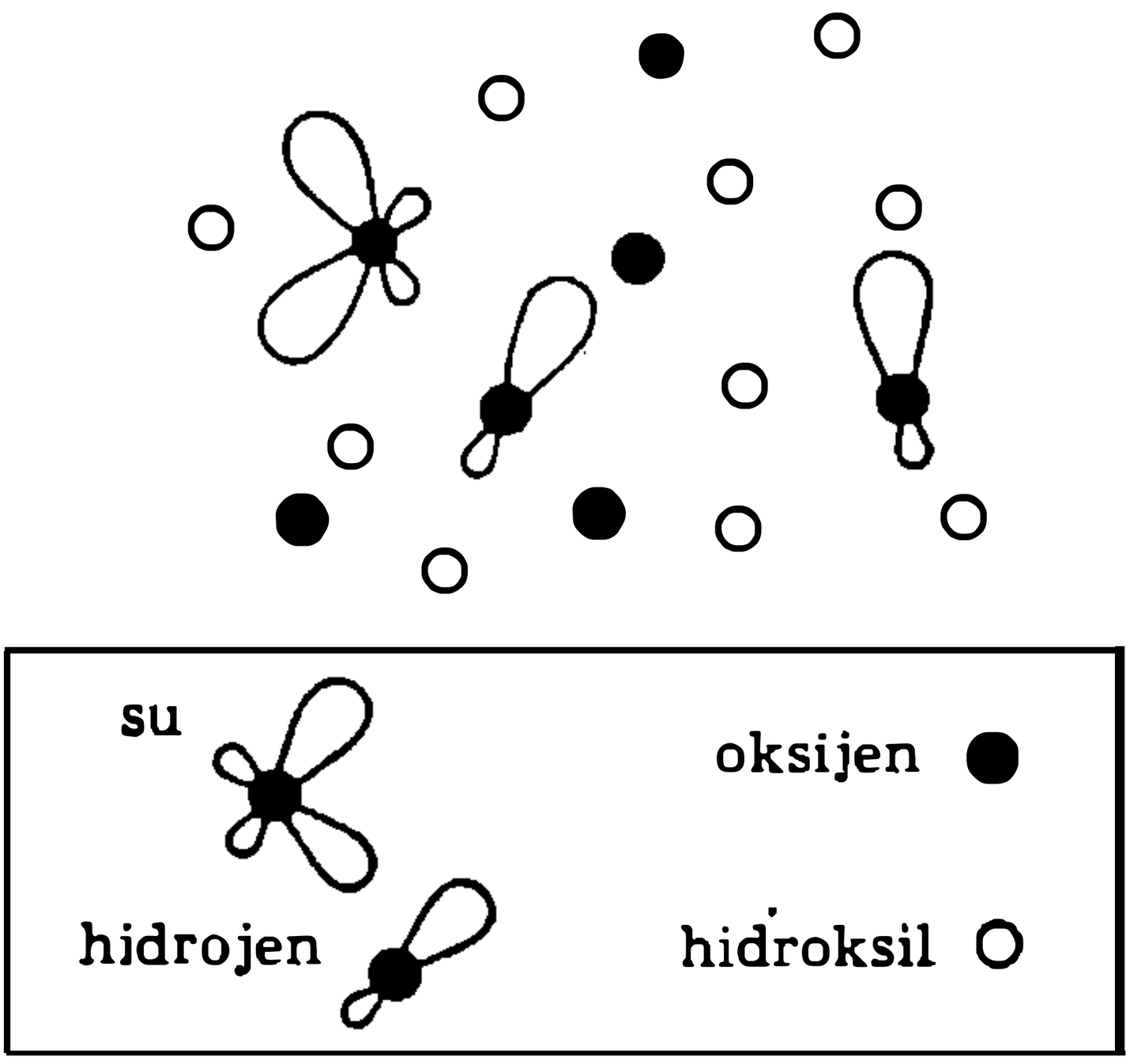
YÜKSEK SICAKLIKLAR

Sıcaklığı daha da artırdığımız zaman acaba ne olur? Moleküller, bir süre, yalnızca hızlarını artırmaktan başka bir şey yapmazlar.

Ama sıcaklık birkaç bin dereceyi bulunca, birbirlerine çarpan moleküllerin bu çarpmaları o kadar şiddetli olur ki, bunlar parçalanabilirler. Proton kolları kopar, su molekülü bir atom oksijen ve iki atom hidrojene ayrılarak parçalanır. Orada burada sakatlar dolaşmaya başlar: artık bir proton kolu olan, bir tek hidrojen atomuna sahip çolaklar görülür. Bunlara hidroksil kökleri denir (kimyasal formül OH). Moleküllerin, bu atomlara parçalanmaları olayına *çözülme* (*dissociation*) adı verilir (şekil 26).

[ŞEKİL — 26]

SUYUN ÇÖZÜLMESİ



Yüksek sıcaklıkta, moleküller hidroksil ile hidrojen ve oksijen atomlarına ayrılırlar.

Bu atom karışımını ısıtmakta devam edelim. Atomların yer değiştirme hızları artar ve birbirlerine daha sert bir şekilde çarparlar. Şimdi, bir atomun, bir çekirdek ile bu çekirdeğe elektriksel kuvvetlerle bağlanan elektronlardan oluştuğunu biliyoruz. Böyle bir oksijen atomunda sekiz elektron vardır, halbuki hidrojen atomunda yalnızca bir elektron bulunur. Elektronlarla çekirdekler arasındaki bağlantı kuvveti, su molekülleri arasında bulunan kuvvetten, ya da birçok atomu bir molekül içinde tutan kuvvetten çok daha büyüktür, ama bu bağlantı gücü çözülmez değildir. Öyle bir zaman gelir ki, çarpışmalar pek şiddetli olur ve çekirdeklerden gelen elektriksel kuvvetler, suratının ortasına yumruğu yiyen bir elektronu artık tutamaz. O zaman oksijen atomlarının, yavaş yavaş, elektronlarını kaybettikleri, bunların birer birer ayrıldıkları, en az bağlı olan en dıştaki elektronların önce fırladıkları, sonra, sonunda çırılçıplak kalmak üzere geri kalan yedi elektron örtüsünü de yavaş yavaş kaybettikleri görülür: bunlar, başka çekirdeklerin ve koparılmış elektronların bulutu arasında dolaşan uydusuz çekirdeklerdir.

Yeter derecede yüksek sıcaklıklarda atomlar, elektronlar ve çekirdeklerden oluşan elemanter bileşenlerine ayrılırlar. Bu olayların görüldüğü sıcaklıklar 10.000 derece mertebesindedir (sıcaklık düzeyi, aslında, birim hacme düşen atomların sayısına ve atomların yapısına göre değişir). Bu sıcaklıklar yıldızlarda ya da bir atom bombasının patlamasında her zaman meydana gelebildiği gibi, bunlar, laboratuvarda da elde edilebilir. Böylece oluşan elektronlar ve çekirdekler karışımına *plazma* adı verilir. Isı hareketi, çekirdekleri parçalayacak, ve onları protonlar ve nötronlardan oluşan elemanter bileşenlerine ayıracak dereceye gelinceye kadar, bu plazma ısıtıldığı zaman, neler olup bittiğini anlatmaya devam edebilirdik. Ama daha önce, sıcaklık yükseldikçe kendini daha çok belli eden bir başka olayı ele almamız gerekiyor;

bu da, bu sıcaklık derecelerinde bir yana bırakılamayacak kadar göz kamaştıran ısı ışımasıdır.

Bir demirci maşası büyük ölçüde ısıtılırsa kızarır, önce koyu kırmızı olur ve kor haline gelir, çok yüksek bir sıcaklık derecesine çıkarılınca akkor haline erişir.

Bu ışık yayılması görüngüsünü, ısı hareketi olarak düşünülen sıcaklığa bağlamak için, demirci maşasını atomik boyutta düşünelim. Sıcaklık artırılırsa atomlar gittikçe daha şiddetle hareket ederler. Atomlardan koparılan ya da onlar arasında dolaşan elektronlar da harekete geçerler ve aynı şekilde tepinmeye başlarlar. Şimdi, elektronlar elektrikle yüklü parçacıklardır ve böyle parçacıklar, bir çarpma anında olduğu gibi hızlanırlarsa, ışık saçarlar. Sonuç olarak maşanın maddesinde görülen ısı hareketi bir ışık saçma sonucunu doğuracaktır.

Böylece yayınlanan ışık, sıcaklık düşük olduğu ölçüde kırmızıdır, sıcaklık pek az yüksek olduğu zaman kızıl-ötesi olur ve gözle görülmez.* Bunu anlamak için ışığın kendisinin de, atomik boyutta, parçacıklardan, *fotonlar*dan oluştuğunu anımsamak gerekir. Öyleyse ışığın elektronlar yolu ile yayınımı, birkaç avuç fotonu hızlanan yük ile fırlatmaktır. Şimdi, varolan her şey gibi bu fotonların da bir enerjisi vardır ve elektronun enerjisi ne kadar yüksekse, fırlatacağı fotonların enerjisinin de o kadar yüksek olacağı açıktır.

Isı ışıması olayını anlamak için, fotonların enerjisinin, ışık ışımasının frekansının yüksekliği ölçüsünde büyük olduğunu bilmek yeterlidir: böylece kırmızı ışığın fotonlarının frekansı, mor ışığınkilerin aşağıyukarı yarısı olur. Bu verileri biraraya toplarsak görülür ki, sıcaklık ne kadar yüksekse elektronların enerjisi de o kadar yüksektir; bunların çıkardıkları fotonların enerjisi ne kadar büyükse, ışımada da

* Kızıl-ötesi ışıma dedektörleri yardımı ile, örneğin, derinin çeşitli bölgelerindeki, derecenin birkaç ondalığı mertebesinde bulunan sıcaklık farklarını "görmek" olanaklıdır.

kırmızı ışığın frekansından o kadar daha yüksek frekanslı ışık yer alır. Böylece, koyu kırmızıdan açık kırmızıya geçiş anlaşılmış olur, bu renk, sonunda beyaza kadar gider; kapağı açık bir çelik fırınından çıkan ışığa bakıldığında bu, kolaylıkla görülebilir. (Beyazın, renkleri ne olursa olsun, görülebilen bütün ışımaların eşit ölçüde üstüste gelmesinden oluştuğunu anımsatalım.)

Isı ışımasının, hem çok sade hem de temel olan bir özelliği vardır. Bu oluşa göre verilen bir sıcaklıkta, bütün cisimlerin saçtığı ışık aynıdır. Bunu çok sade bir şekilde görebiliriz: kor haline gelene kadar ısıtılan kömürde, ısı ışımasının yayılma mekanizması, demirci maşasındakinden oldukça farklıdır. Kömür sözkonusu olunca, atomlardan pek az sayıda elektron koparılır ve bu atomlar çarpışmaları sonucunda birbirlerini hızlandırırlar; bunlar, sürekli olarak, elektriksel düzeylerinin bir üst enerji düzeyine geçerler ve kazandıkları bu enerjiyi ışık ışıması şeklinde yayarlar. Şimdi ayrıntılı mekanizmaların farklı olmasına karşın, ışığın yayılışı aynıdır; bunu, bir maşayı, kor haline gelmiş bir kömüre daldırarak görebiliriz: başka sonuçlardan gelen küçük farklar bir yana bırakılırsa, çok geçmeden maşayı kömürden ayırdetmek mümkün olmaz.

Bütün cisimlerin saçtığı ve eşit sıcaklıkta hepsi için aynı olan bu ışımaya *ısı ışıması* adı verilir.

Gördüğümüz gibi renk ya da bir başka deyişle, farklı ışık frekanslarına göre ışıma enerjisinin dağılışı, sıcaklığa bağlıdır. Bu bize ilke olarak, bir spektrograf yardımı ile, ışığının frekans bakımından dağılışını gözleyerek, bir yıldızın yüzeyindeki sıcaklığı ölçmek olanağını verir.

Özet olarak sıcaklık, parçacıkların hareketinin ortalama enerjisini gösteren bir özelliktir. Bu harekette her zaman bir ısı ışımasına, bir ışık ışıması eşlik eder. Bu ışık ışımasının şiddeti ve tayfı yalnızca sıcaklığa bağlıdır.

TERSİNE EVRİM

Bildiğimiz şekilleri ile fizik yasalarını bir izotrop Evren modeline uygularsak, özellikle fizikçi Gamow tarafından incelenmiş olan bazı temel sonuçları elde ederiz.

Buradaki yöntem, Evrenin geçmişte nasıl davranması gerektiğini incelemekten başka bir şey değildir. Zaman içersinde, genişlemenin nasıl meydana gelmesi gerektiğini, genel rölativite bize söylemektedir; bunun şimdi galaksilerde bulunan madde üzerindeki tepkilerini inceleyebiliriz. Böylece zaman içersinde geriye gitmek olanaklı olur. Bu incelemenin sonuçlarının, önerilen çerçeve içersinde Evrenin tarihini anlatacak olan bir film biçiminde gösterildiğini ve geçmişe gitmek üzere şu andan başlayarak bu filmin gözümüzün önünde, tersine oynatıldığını düşünelim.

Genişleme tersine izlenirse, bu, önce bize, birbirine yaklaşan galaksileri gösterir. Zaman içinde gerilere doğru gidildikçe galaksilerin herbirindeki yıldızlar, geçmişlerindeki kişiliklerine bürünürler ve bunları meydana getirmiş olan gaza dönerler; daha sonra galaksilerin birbirine değdiği bir an gelir.

O zaman ne olur? Evren büzülmeye devam eder, galaksiler birbirine karışarak tek bir gaz haline gelirler. Yalnızca bağlı olduğu galaksinin gravitasyonel çekimi altında bulunan bir gaz molekülü, şimdi komşu galaksilerden gelen gazın da gravitasyonel çekimini duyar. Evren büzüldüğü için moleküller gittikçe birbirlerine yaklaşırlar. Sonunda, büzülen bu gaz ısınır ve moleküllerin yer değiştirme hızı artar. Böylece Evren büzüldüğü ölçüde moleküller gittikçe birbirlerine yaklaşırlar ve gittikçe hızlanırlar, birbirlerine çarparlar, yerlerinde duramazlar... ve onların, yüksek bir sıcaklığın özelliği olan, devinim haline ulaştıkları görülür. Evren şimdi sıcak bir gazla, tersine görüşümüzde galaksilerden gelen ilk madde ile, aslında gelecek galaksilerin kalıbı ile doludur.

Kuşkusuz, yüksek sıcaklıktaki bu gaz, bir ısı ışıması yayar, ve hem gazın hem ışımanın başına neler geldiğini düşünmek yerinde olur. Evren büzülmeye devam ettiği sürece, zaman içindeki bu geri gidiş boyunca, sıcaklık yükselir.

Gazın atomları gittikçe daha fazla ışıma yayarlar ve büzülme dolayısıyla kazandıkları enerjinin en büyük bölümünü bu ışımaya harcarlar; öyle ki, çok geçmeden ışımada, atomlarda bulunan enerjiden daha çok enerji kullanılmış olur.

Filmi durduralım. Fiziğin olağan yasaları ile genel rölativite teorisinin birleşmesinin, Evrenin geçmişte yüksek bir sıcaklık derecesinde bulunması ve şiddetli bir ışı ışımasını kapsaması gerektiğini bundan çıkarmak uygun olacaktır. Bu dersten kuvvet alarak, artık, Evrenin başlangıç devresindeki davranışını incelemeye başlayabiliriz.

GENİŞLEME VE SICAKLIK

İzotrop bir Evrenin, başlangıcına yakın devrelerdeki davranışını düşünelim. Görüldüğü gibi evrim tarihi, uzay-zamanın sonsuz bir eğriliğe sahip olduğu ve sıfır zamanı demeyi uygun gördüğümüz bir anda başlamaktadır.

Einstein denklemleri, genişlemeyi Evrenin içeriğindeki enerji yoğunluğuna bağlama olanağını sağlıyor, bu enerji hiç değilse birinci milyon yıl süresince başlıca ısı ışımasından gelen enerjidir. Pratik bakımdan ışıma yasaları sayesinde sıcaklık bilindiği zaman enerji yoğunluğunun ne olduğu söylenebilir. Bunun sonucu olarak Einstein denklemleri, uzayın genişleme hızı ile sıcaklık ve zaman arasında çözümleri kolaylıkla bulunabilen bağlantılar verirler.

Böylece sıcaklığın zamana bağlı olarak değişmesi konusunda, daha sonra özellikle anlamlı görünecek olan bazı değerler bulunur:

1° Evrenin doğuşundan 10^{-5} saniye sonra sıcaklık 4×10^{12} derecedir.

2° 10^{-4} saniye sonunda sıcaklık 10^{12} derecedir.

3° 100 saniye sonunda (bir dakikadan biraz fazla) sıcaklık 10^{10} derecedir.

4° Evrenin doğuşundan bir milyon yıl sonra sıcaklık 3.000 derecedir.

Evrenin ilk zamanlarının tarihini iyice kavramak için, sıcaklığın, 10^{12} derecenin birçok katı olan bu hayalî sayılara ulaştığında, onun görünüşünün ve içeriğinin ne olabileceğini anlamak gerekir.

En kolay yol, bizim alışık olduğumuz sıcaklıklara dönmek ve sıcaklık arttıkça hangi yeni görüngülerin ortaya çıktığını incelemektir. Biliyoruz ki, sıcaklık binlerce dereceye ulaştığı zaman, bütün cisimler, eridikten sonra buhar haline gelirler ve sonunda ayrı ayrı atomlardan oluşan bir gaz biçimini alırlar. Evren için geçerli olan yoğunluklarda, sıcaklık 3.000 dereceye yaklaşarak bunu aşarsa, atomlar da gittikçe kararsız olurlar ve kendilerini oluşturan elektronlar ile çekirdeklerine ayrılmaya başlarlar. Bir milyon derecede artık çoktan beri ortada atom kalmamıştır. O zaman, elektronlar ve çekirdekler, ısı ışımasını oluşturan ve gittikçe yoğunlaşan bir fotonlar banyosuna dalmışlardır.

Sıcaklık 10^{10} dereceye yaklaşınca yeni bir görüngü ortaya çıkar: artık ısı ışımasında yalnızca fotonlar değil elektronlarla pozitronlar da yer alırlar.

ELEKTRONLAR VE POZİTRONLAR

Elektron, atomların başlıca öğelerinden birisidir. Gerçekte, bir atomun kimyasal özellikleri, onu oluşturan elektronların sayısı ile belirlenir. Bir elektron, atomlardan ayrılmış olup bağımsız ise, bir parçacık olarak kendini belli eder, ama hiç bir deney ona, uzayda bir boyut göstermeye olanak vermez ve bu parçacık her bakımdan bir nokta gibi davranır. Onun, bütün elektronlar için aynı olan, iyice belirlenmiş bir

elektrik yükü vardır. Kuşkusuz, bu kadar küçük bir cisim günlük kavramlarla her zaman anlatılamaz, onun bütün özelliklerini anlamak için kuantum mekaniğine başvurmak zorunludur. Zaten, bu yüzyılın yirminci yıllarında, kuantum mekaniği yaratıldığı zaman, önce, özellikle elektronların incelenmesine uygulandı. Böylece yavaş yavaş elektronların bir atom çekirdeği çevresindeki dağılımlarını, hareketlerindeki enerjinin ne olduğunu, bir hareket konumundan, daha az enerjisi olan başka bir hareket konumuna geçtiklerinde nasıl fotonlar saçabildiklerini anlayabildik. Böylece atomların özelliğinden hareket ederek, fiziğin temelinin yeni baştan kurulduğu görüldü. Elektronların fotonlar yayınlaması, türlü maddelerin çıkardığı ışığın tayflarını açıklamaya olanak sağladı ve bu, çok ayrıntılı bir biçimde uygulandı. Elektronların atomlardaki ve moleküllerdeki dağılışının bilinmesi, kimyanın temel taşı oldu. Böylece, atomların ve elektronların katı ya da sıvı bir çevredeki davranışlarının incelenmesi ile, boyutlanmaya uygun en önemli fizik görüngülerinin yorumlanabileceği ve çoğu kez hesaplanabileceği görüldü: elektrik ve optik özellikler (elektriğin iletilmesi, bir cismin ışığı geçirmesi ya da geçirmemesi, renk, cisimlerin sertliği), manyetik özellikler, (ferro-manyetik cisimlerin nitelikleri belirtilebildi ve mıknatıslanmanın başlangıcı bulunabildi), ısı özellikleri (ısının iletilmesi ve biriktirilmesi, basınç). Böylece, daha henüz soluğu kesilmemiş olan bu ilerleyişte, atomlara uygulanan bir kuantum mekaniği, bizi çevreleyen doğanın en göze çarpan ya da en ince özelliklerini yorumlamak, araştırmak, belirtmek olanağını sağladı.

1928 yıllarına doğru kuantum mekaniğinin öncülerinden biri olan Dirac, yeniden, elektron üzerinde derin düşüncelere daldı. Birtakım sorunlar onu uğraştırıyordu. O zamana kadar, Schrödinger'e borçlu olduğumuz bir denklemde formüle edildiği şekli ile kuantum mekaniği, ancak, hızı ışığınkine göre küçük olan elektronları ele alabiliyordu. Bu

durum ise, açıkça, özel rölativitenin yasaları ile uzlaşamıyordu. Dirac, kendi kendine şunu sordu: kapsadığı çok geniş bilgileri rölativite çerçevesine yerleştirmek için, kuantum mekaniğinin temellerini nasıl değiştirebiliriz?

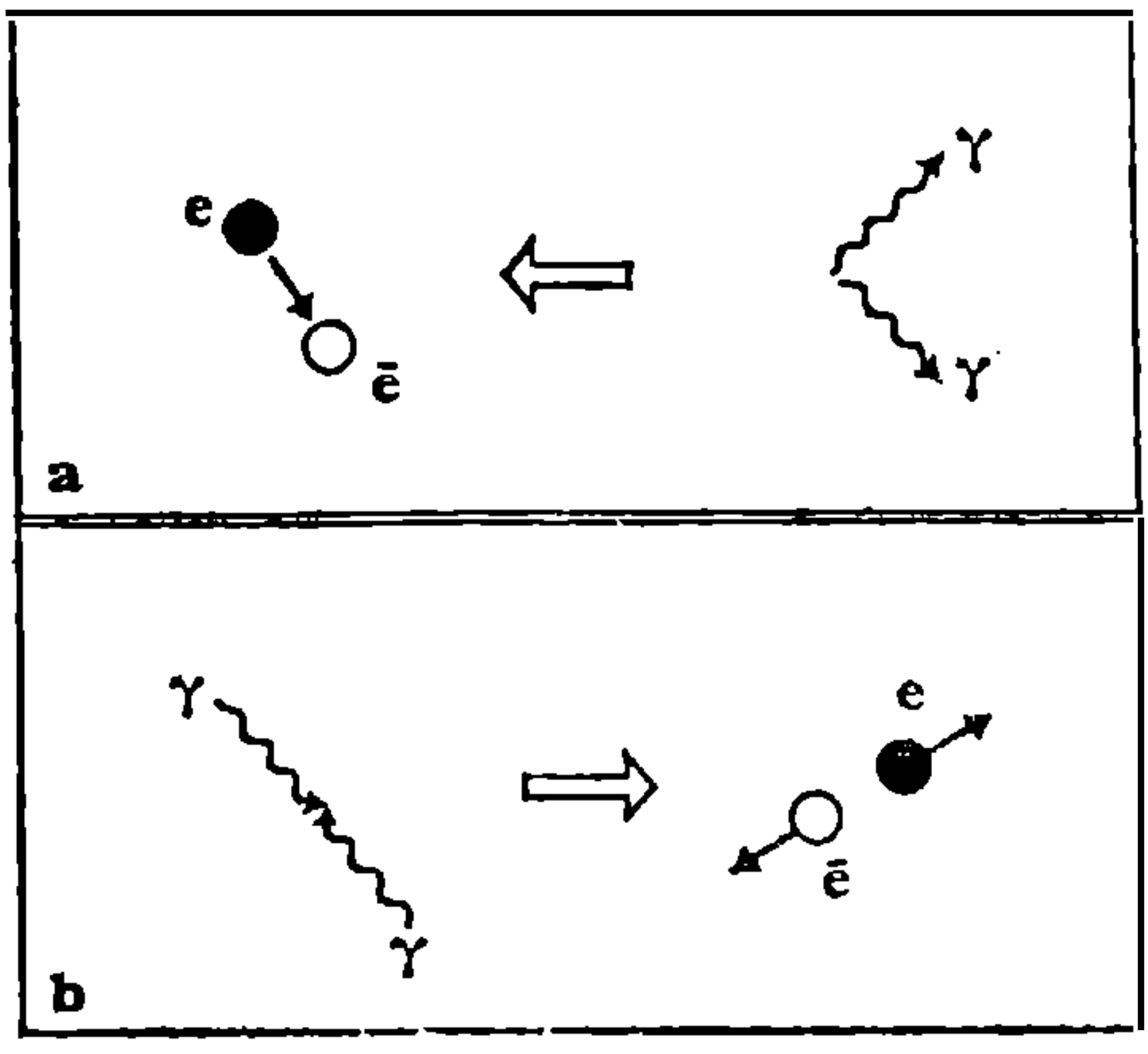
Dirac da, deha belirtileri nadir olmadığından, elektronu betimleyen yeni bir denklem biçimini bulmakta gecikmedi; bu denklem, rölativite ile uzlaşmak gibi, istenen bir özelliğe sahipti. Bunu incelerken, büyük buluşlar sırasında çoğu kez görüldüğü gibi, bir taş ile birden fazla kuş vurduğunu çok geçmeden anladı. Gerçekten de ileri sürdüğü denklem, istediğinden çok fazlasını getiriyordu. Bu denkleme göre, hareket eden elektronun, uzun zamandan beri kestirilen ama henüz açıklanamayan bir biçimde, kendi ekseni etrafında dönmesi gerektiği sonucuna varılıyordu.* Elektronun kendine çok özgü bazı nitelikleri de ortaya çıkıyordu: elektronun yalnızca elektrikle yüklü olduğu değil, küçük bir mıknatıs gibi davrandığı da deney yolu ile önceden biliniyordu. Dirac bunu da denkleminde buluyor ve bu, ona, bu mıknatısın şiddetini büyük bir kesinlikle hesaplama olanağını sağlıyordu. Denklemi hidrojen atomuna uygulayarak Schrödinger'in tanımında bulunmayan bazı incelikleri anlayabildi.

Fizikçiler, Dirac'ın denklemindeki başka bir özellikle karşılaşınca bir an için duraksadılar. Bu denklemin, gereğinden fazla çözümü vardı. Bu denklem sayesinde, yalnızca bir elektronun en çeşitli koşullardaki davranışını anlatan çözümler değil, aynı zamanda, anlamı anlaşılamayan tuhaf çözümler de elde ediliyordu. Dirac bunun açıklamasını şöyle ileri sürdü: bu çözümler, diyordu, bir fizik sistemini gösteriyorlar, ama burada bir (e) elektronu olacak yerde, yeni bir parçacık, ($\hat{e}$) pozitronunun varlığı sözkonusudur. Bu parçacığın elektronla ortak birçok özellikleri olmalıdır: aynı kütle, kendi çevresindeki aynı dönüş. Elektrik yükü ise mut-

* Bu görüngü *spin* adını alır. (İngilizce *to spin*, kendi ekseni etrafında dönmek demektir.)

Iak değer olarak elektronunkine eşit, ama manyetik özellikleri gibi, ters işaretle olmalıdır. Az zaman sonra pozitron, Anderson tarafından deney yolu ile bulunuyordu.

[ŞEKİL — 27]



a) Yokolma: bir (*e*) elektronu ile bir (*ê*) pozitronu birbirlerini yokederek iki foton meydana getirirler.
b) Çiftlerin oluşumu: iki fotonun çarpışması bir çift elektron-pozitron meydana getiriyor.

Pozitronun en dikkate değer özelliklerinden biri, bir elektronla çarpıştığı zaman kendini gösterir. O zaman elektron-pozitron çiftinin *yokolma* (*annihilation*) olayı ile karşılaşılır: İki parçacık, bir çift foton ya da bir foton üçlüsünü meydana getirerek kaybolurlar. Bu olüşum, çoğu kez, maddenin yokolması adını taşır, çünkü ağırlığı olan, maddesel olan iki parçacık kaybolarak, fotonlar, yani ışıma meydana gelmektedir.

Ters tepkime de olanaklıdır: başka bir fotona raslayan bir foton, bir pozitron-elektron çifti meydana getirebilir. Bununla birlikte bu görüngü ancak çok özel koşullar içinde oluşur; çünkü olağan iki ışık huzmesi karşılaştığı zaman bu tür tepkimelerin meydana geldiği hiç görülmez. Bunu

önleyen temel koşul, enerjinin sakınımı yasasıdır. Gerçekten de, özel rölativiteden beri, her cismin, kütlesine bağlı bir enerjisi olduğu biliniyor. Bu enerjinin ifadesi Einstein'ın tanınmış formülünde verilmektedir:

$$E = mc^2$$

Burada E enerjidir, m kütledir ve c ise ışığın hızıdır. Demek ki, elektronla pozitronun bir kütlesi vardır. Böyle bir parçacık çiftini meydana getirmek için iki fotonda da yeterince enerji bulunmalıdır; kuşkusuz, görülen ışığın fotonları böyle bir enerjiye sahip değildirler.

Çok yüksek sıcaklıkta bulunan bir sistemde, ısı fotonlarının ortalama enerjisi sıcaklık ile artar. Sıcaklık 10^{10} dereceye yaklaşınca fotonların enerjisi artık çok sayıda elektronlarla pozitronların meydana gelmelerine olanak sağlayacak kadar yüksektir. O zaman, sürekli olarak, fotonların çarpışması elektron-pozitron çiftleri doğurur; buna karşı bir elektron ile bir pozitronun çarpışması yeniden fotonlar üretir, öyle ki, sistemin tümü denge halinde kalır, çünkü, yaratılan çiftler kadar, aynı anda, yokedilen çiftler de vardır.

Daha yüksek sıcaklıklarda aynı görüngü sürüp gider, ama bu kez artık yalnızca elektronlarla pozitronlar değil, belki de yeni elemanter parçacıklar da ortaya çıkar. Çok yüksek sıcaklıklarda olup biteni anlamak için, bunlarla yakından tanışmamız gerekecektir.

ELEMANTER PARÇACIKLAR

Daha önce üç elemanter parçacığın adını söylemiştik, bunlar foton, elektron ve pozitrondu. Tüm parçacıklar bunlar değildir, bunlardan başka daha birçokları vardır.

Atom çekirdekleri, çok sıkışık olup, *protonlar* ve *nötronlar* gibi bazı elemanter parçacıklardan oluşan birimlerdir. Çekirdeği oluşturmaları nedeniyle onlara, çoğu kez *nükleonlar* adı da verilir. Bunların kütleleri birbirine oldukça yakındır ve herbiri, aşağıyukarı, elektrondan 1.800 kere daha ağır-

dır. Protonun pozitif bir elektrik yükü vardır. Oysa adının gösterdiği gibi, nötronun yükü sıfırdır. Protonların bu elektrik yükü atom çekirdeğinin yükünü oluşturur ve atom, çekim gücü ile, elektronlarını çekirdek çevresinde tutar.

Parçacıkları incelemekte en çok kullanılan deneysel yöntem, bunlardan bazılarına, hızlandırıcı adını taşıyan özel araçlar yardımı ile çok büyük hızlar (ve sonuç olarak çok yüksek enerjiler) vermekten ibarettir. Bu hızlandırıcıların büyüklüğünü anlatmak amacı ile, yeni, modern bir hızlandırıcının birkaç yüz metre çapında çember şeklinde bir araç olabileceğini ve bir tanesinin uzun olduğunu ve uzunluğunun iki kilometreyi bulduğunu söyleyebiliriz. Hızlandırıcının çevresinde, içinde bazan binlerce kişinin çalıştığı laboratuvarlar bulunur. Bu tür araçlar ve bu kadar çok sayıda araştırıcı kullanarak yirmi yıldanberi sürdürülen çabalar gözönünde tutulursa, elemanter parçacıklar hakkında bilgilerimizin çok önemli ölçüde artmış olmasının nedeni kolayca anlaşılır. Bununla birlikte, elemanter parçacıklar fiziği kendi başına bir dünyadır ve biz burada yalnızca konumuzun anlaşılması için gerekli olan bilgilerden sözedeceğiz.

Çok hızlandırılmış bir parçacık, başka bir parçacık üzerine gönderilirse, çoğu kez çarpışma sonucu yeni parçacıkların ortaya çıktığı görülür. Belirli sayıda protonları çok yüksek bir enerji düzeyine çıkaran bir hızlandırıcı düşünelim. Bu protonlar, başka protonlar üzerine gönderilebilir. Gerçekte bundan kolay bir şey yoktur. Çünkü eninde sonunda, protonlar hidrojen atomlarının çekirdeklerinden başka bir şey değildir. Bir proton-proton çarpışmasını elde etmek için, hızlandırılmış protonlar demetini sıvı hidrojenle dolu bir kaba göndermek yetecektir. Çarpan protonlar, hidrojen elektronlarının varlığına pek az duyarlıdırlar ve bu nedenle protonlar doğrudan doğruya çekirdeklerle etki-tepki haline gireceklerdir. Çarpma süresince neler olup bittiğini anlamak için, tepkileşmeden meydana gelen parçacıkları, bunların

enerji, kütle ve elektrik yükünü kesinlikle ölçebilen araçlar kullanarak, yakalamak yetecektir. Böylece, kütleleri ve yükleri sayesinde bu parçacıkların ne oldukları anlaşılabilir.

Protonlar arasındaki çarpışmalar sırasında en çok sayıda meydana gelen parçacıklar, *pion*lar adını da alan π *mezon*larıdır. Kütleleri birbirine yakın olan ama elektrik yükleri birbirinden farklı olan üç çeşit π mezonu vardır. Biri pozitif yüklüdür ve π^+ simgesi ile gösterilir. Yükü, protonla pozitronun yükünün tastamam aynıdır. Bir başkası negatif yüklüdür ve π^- ile gösterilir. Bunun yükü elektronun yükü kadardır. Bu arada, elektronla pozitronun kütleleri gibi, π^+'nın kütlesi ile π^-'nin kütlesinin de kesinlikle aynı olduğunu söyleyelim. Nötr olan bir üçüncü tür, π° simgesi ile gösterilir. Kütlesi π^+ ve π^-'nin kütlesine yakın olup ondan biraz farklıdır, aşağıyukarı elektronun kütlesinin 273 katıdır.

Bu parçacıklara verilen *mezon* adı, çekirdek kuvvetlerinde oynadıkları rolden ileri gelir ("aracı" anlamına gelen Yunanca bir sözden geliyor). Çekirdek kuvvetleri, protonlarla nötronları çekirdeklerde temas halinde tutar. Bunların, hem son derece şiddetli hem de ancak çok kısa uzaklıklarda etki göstermek gibi ilginç bir özelliği vardır. Parçacıklar fiziğinde, çekirdek kuvvetlerinin, nükleonların durmadan π mezonları yaymaları ve yutmaları olgusundan meydana geldiği gösterilebilir. Bunu ilk kez, 1937'de, Japon fizikçisi Yukawa göstermiştir ve o zamandan beri, bu teori bir hayli geliştirilmiştir. Burada bu alış-veriş görüngüsünü ayrıntılı olarak incelemek sözkonusu değildir, klasikleşmiş bir şaka bunu bir bilmece biçimine sokmuştur: "Otlaklarda inekleri çobanın yanında tutan nedir?" yanıt şu oluyor: "Bir mezonun, yani bir köpeğin aracılığı."

Protonla elektronun tersine, π mezonları kararlı değildirler. Bir π^-, 10^{-8} saniyede dağılır ve iki yeni parçacık, bir μ^- ya da *müon* ve bir nötrino doğurur. Pratik olarak müon bir elektrondur: onun özelliklerinin çoğuna sahiptir

(yük, başka parçacıklarla çarpışmalarındaki karşılıklı etkiler), ama 214 kere daha ağırdır. (Nasıl ki, elektron pozitronda bir pozitif eş buluyorsa, μ^- de μ^+'nın kişiliğinde de pozitif bir eşdeğerini bulur, bunun kütlesi aynıdır, ve π^{+-}'ların dağılmalarında ortaya çıkan parçacıklar arasında yer alır.) Her iki müon da; (μ^- için) bir elektron ya da (μ^+ için) bir pozitron ve iki nötrino vermek üzere 10^{-6} saniyede parçalanırlar.

Tıpkı foton gibi nötrinolar da kütlesi sıfır olan parçacıklardır, bu da bunların her zaman ışık hızı ile yer değiştirmelerinin nedenidir. Karşılıklı etkileri pek azdır, gerçekte o kadar azdır ki, bir nötrinonun, Yerküreyi bir baştan bir başa geçerken, hiç bir karşılıklı-etki doğurmaması olasılığı çok yüksektir.

Bu gün ikiyüze yakın başka elemanter parçacık bilinmektedir. Deneylere sarfedilen çabaların ve kesinliğin artırılması ölçüsünde bu sayı daha da artmaktadır. Bunların çoğu, şimdi ele alacağımız karşı-proton ve karşı-nötron bir yana bırakılırsa, *bundan sonra* ancak göstermelik bir rol oynayacaklardır.

KARŞI-MADDE

Pozitronun bulunmasından sonra, fizikçiler, elektronla pozitron gibi, birbirine benzeyen, bununla birlikte raslaştıkları zaman birbirini yokedecek kadar uyuşmaz olan böyle iki parçacığın varoluş nedenleri üzerinde düşünmeye başladılar.

Elemanter parçacıkların anlaşılması yolunda ilerlendikçe, hem teorik bakımdan hem deneysel olarak, gittikçe kesin bir sorun kendini belli ediyor ve karşı-parçacıkların varlığı tamamıyla genel bir görüngü olarak görünüyordu. Her parçacığın, kütlesi eşit ve elektrik yükü tastamam aynı, ama ters işaretli olan bir karşı-parçacığı vardır. Böylece π^+'nın karşıtı π^-'dir. Bazı durumlarda bir parçacık, kendi karşı-parçacığı olabilir, foton ile π^o'ın durumu böyledir, ama bu,

kural dışıdır.

Peki, nükleonlar için ne diyeceğiz? Onların da karşı-parçacıkları var mıdır? Teori bunu önceden söylüyor. 1954'-te çok yüksek enerjili protonların çarpışmalarında meydana gelen parçacıklar arasında bunları bularak varlıkları deney yolu ile saptandığı zaman bunun doğru olduğu kesinlikle anlaşıldı.

Karşı-protonun kütlesi protonunkinin aynıdır. Onun bütün özellikleri, gerçekte, protonun özellikleri ile özdeştir, şu farkla ki, pozitif bir büyüklüğün yerini, burada bazan buna karşılık olan, negatif bir büyüklük alır. Böylece karşı-protonun elektrik yükü negatiftir ve elektronunkine eşittir. Karşı-nötron da nötron gibi tarafsızdır.

Bir nükleon, bir karşı-nükleon ile çarpıştığı zaman tıpkı elektron-pozitron çarpışmalarında olduğu gibi bir yokolma görülür, ama bu kez, fotonlar yerine çok sayıda π mezonları meydana gelir. Ortalama olarak, bir nükleon ile karşı-nükleonun yokoluşmasında, aşağıyukarı altı mezon yaratılmıştır. Tersine yüksek enerjili iki parçacığın çarpışmasında bir çift nükleon ile karşı-nükleon yaratılabilir. (Şuna işaret edelim ki, karşı-nötron, deneysel olarak, bir nötron ya da bir protonla karşılaştığında, hep birlikte yokolma özelliği göstermesi ile ayırdedilebilmektedir.)

Kuantum fiziğinin yasaları, bizi kuşatan ve oluşturan maddeye tastamam benzeyen bir karşı-maddenin varlığını tasarlamaya bizi zorluyor. Burada protonlarla nötronların yerini karşı-protonlar ve karşı-nötronlar almış olacaktır, ve bunun sonucu olarak çekirdeklerin yerine karşı-çekirdekler geçecektir. Burada pozitronlar elektronların yerini, karşı-atomlar atomların yerini almış olacaktır. Bu bir yana bırakılırsa, karşı-maddenin özellikleri tastamam maddenin özellikleri gibi olacaktır. Burada aynı atom tipleri, aynı kimyasal türler, ışığın aynı tayfları ve böylece aynı optik özellikler görülecektir. Madde ile karşı-maddenin özellikleri o

kadar birbirinin eşidir ki, bir karşı-kedide bir kedinin tüylerindeki aynı renk nüansları yer alacaktır.

Ama karşı-madde etkisiz değildir: maddeye tastamam benzemekle birlikte, onunla birarada bulunamaz. En küçük bir raslantıda nükleonlar karşı-nükleonlara, elektronlar pozitronlara karşı çıkarak, madde ile karşı-madde birbirlerini yokederler. Karşı-maddenin varolabileceğini düşünebilmek için bu kadar zamanın geçmiş olması kolayca anlaşılır: yalnızca bizim varlığımız ve Yerkürenin varlığı, hatta bizi çevreleyen Galaksinin varlığı, karşı-maddenin varlığını olanaksız kılıyordu. Onun bulunduğu yerde biz bulunamazdık. Söylediklerimizi yinelemeyi göze alarak, bu bağlantının karşılıklı olduğu olgusu üzerinde duralım: karşı-varlıklar için de maddenin varlığı, yokolma tehlikesi nedeniyle olanaksızdır. Kısaca madde karşı-madde için ne ise, karşı-madde de madde için odur ve bunlar birbirlerinin varlıklarını karşılıklı olarak olanaksız kılarlar.

Şurası açıktır ki, karşı-maddenin bu potansiyel varoluşu anlaşıldıktan ve gittikçe kesinleştikten sonra, evrenbilimin karşısına temel bir sorun çıkıyordu. Uzayda keşfedilen ve birbirlerinden milyonlarca ışık-yılı uzaklığında yer alan galaksiler aynı yapıda mıdırlar, aynı maddeden mi yapılmışlardır? Karşı-maddeden oluşanları yok mudur? Soru ilk kez sistemli bir şekilde, ikisi de İsveçli olan Alfvèn ve Klein tarafından ortaya atıldı.

Gözlem buna doğrudan doğruya karşılık verme olanağını sağlamıyor. Gerçekten de, görünüşlerinde ya da yayınladıkları ışıkta bir galaksiyi bir karşı-galaksiden teorik olarak hiç bir şey ayırmıyor. Bugün için, dolambaçlı da olsa, hiç bir kanıt, onların yapısını kesinlikle bilmemize olanak vermemektedir.

Uzayda karşı-galaksilerin bulunabileceğini söylemek bazı gökbilimcilere güç göründü. Bu durum tamamıyla doğaldır, çünkü dünyanın çevremizde gördüğümüzden daha çe-

şitli olabileceğini kabul etmek her zaman güçtür. Bununla birlikte, bizi kuşatan ve oluşturan maddeyi tek gerçek saymak isteyen insaniçincilik (*anthopocentrisme*)* için bu tutumun son sığınak olduğunu kabul edebiliriz.

Karşı-maddenin yer alabileceği bir Evrenin olasılığı kabul edildi mi, baştanaşağı maddeden oluşacak olan bir evrene göre birçok bakımlardan daha sade olan bir Evrenin sözkonusu olduğu görülür. Gerçekten de nükleonlarla karşı-nükleonların daima çift olarak yaratıldıklarından ya da yokedildiklerinden birçok kez sözetmiştik. Bundan şu sonuç çıkar ki, Evrende bulunan nükleonlarla karşı-nükleonların sayılarının toplamı, zaman süresince yaratma ya da yokolma yolu ile değişebilmekle birlikte, bu sayılar arasında fark sabittir. Gerçekten de bu farkın, olduğu gibi kaldığı çok büyük bir kesinlikle gösterilmiştir.

Öyleyse bu anda bütün Evren yalnızca madde ile dolu olsaydı belli bir hacimde bulunan nükleonların sayısı belli bir N değerini alacaktı, buna karşılık karşı-nükleonların sayısı sıfır olacaktı. Şimdi, gördüğümüz gibi, Evren tarihinin geçmiş zamanlarında, geriye doğru gidilince, ilk başlangıçlarda çok yüksek sıcaklıklara raslanır. 10^{13} derece mertebesinde olan bu sıcaklıklarda, ısı ışımasında pek çok nükleonlarla karşı-nükleonların yer alması gerekir. Bunun nedeni, elektronların varlık nedeninin aynıdır ve buna yeniden döneceğiz. Bu tür sıcaklıklarda, genişleme hesaba katılırsa, öncekine yakın bir hacimdeki nükleonların sayısı N′ gibi bir değere ve karşı-nükleonların sayısı N″ gibi bir değere eşit olacaktır. Farkların korunması yüzünden N′ ile N″ arasındaki farkın N'ye eşit olması zorunludur. Demek ki, bütün hesaplar yapılınca, N″'nün N'den 10^9 kere daha büyük olması gerektiği görülür. Böylece, daha önce maddenin karşı-maddeden pek az fazla olduğu, zaman süresince her ikisi kay-

* İnsanın evrenin merkezi ve insandan başka tüm nesnelerin insan için olduğunu ileri süren anlayış. —ç.

bolduğu halde, yalnızca küçük farkın sürüp geldiği, acayip bir Evren görüşüne ulaşılır.

Böylece ilk bakışta görünenin tersine, Evrende yalnızca maddenin bulunduğunu varsaymak, bizi en sade bir duruma götürür görünmüyor.

Evrenin ilk anlarındaki davranışının ne olabileceğini incelemek için, elemanter parçacıklar üzerindeki bu uzun tartışma zorunlu idi. Bu, bizi, özellikle karşı-maddenin varlığı sorununu ortaya atmaya götürdü. Evrende karşı-maddenin bulunduğuna ya da bulunmadığına göre tartışma çok farklıdır ve biz sıra ile her iki varsayımı da gözden geçireceğiz.

GAMOW MODELİ

Çok sayıda çalışmalara yolaçan ve şimdiye kadar uzmanların en çok dikkatini çeken evrenbilim modelini anlatmaya başlayalım. Bunun başlangıcı 1930 yıllarına dayanır. Bu yıllarda, asıl anlamı ile, evrenbilimin rölativist temelleri atılmıştır; bu temeller, "ilk atom modeli" gibi uyarıcı bir ad veren Mgr Lemaître tarafından ortaya konmuştur. Bununla birlikte, bundaki büyük pay, bu modellerin fiziksel sonuçlarını, bunu baştanaşağıya yenileyecek bir biçimde inceleyen Georges Gamow ve çalışma arkadaşlarına aittir. Gamow'un kendisi buna *büyük patlama* (*big bang*) adını vermişti; bu, gelişmenin hızlı oluşunu ve ilk aşamalarında sonuçların şiddetini iyice gözümüzün önüne sermektedir.

Burada izotrop bir Evren modeli sözkonusudur. Öyleyse buna, evrensel bir zaman kavramı, bir sıfır anında başlayan bir zaman katılabilir. Bu evrenin içeriği şimdiki anda varolan nükleonlara eşit sayıda nükleonlardan ve bir ısı ışımasından ibarettir. Daha kesin söylemek gerekirse Evrenin belli bir parçasının o zamandan beri genişleme halinde olduğu ve daima, ortalama olarak, aynı nükleon sayısını, N sayısını kapsadığı düşünülebilir.

Einstein denklemleri ve istatistik termodinamiğin yasaları, uzayın genişlemesinin ve ısı ışımasının sıcaklığının, zaman boyunca nasıl değiştiklerini tam olarak göstermeye olanak sağlamaktadır.* Böyle bir sistemde hangi fizik görüngüler birbirlerini izleyebilmiştir?

Varlıklarını çok küçük bir süre içersinde sürdürebilen nükleonlar, Evrenin, içeriği tamamıyla ihmal edilebilecek olan bir bileşenidir, bu içerik pratikte ısı ışıması ile aynı sayılabilir. Bu ışıma bütün elemanter parçacıkların bir karışımından ibarettir: bunların arasında fotonlar, elektronlar, pozitronlar, nüonlar, nötrinolar, pionlar, nükleonlar, karşınükleonlar görülür, bunların yanısıra, daha az bilinen parçacıklar yer alır. Bu çeşitli türden parçacıkların herbirinin oranı sıcaklığa bağlı olarak değişir, başlangıçta her türün, aşağıyukarı eşit olarak temsil edildiği düşünülebilir. Bu parçacıkların yoğunluğu çok büyüktür: atom çekirdeklerinin ilk saniyenin yüzbinde-birindeki yoğunluklarının birçok katıdır ve böylece santimetre küp başına 10^{15} gram mertebesindedir.

Saniyenin yüzbinde-biri, bu, son derece kısa değil mi? Şuna işaret etmelidir ki, önemli olan, bir fizik büyüklüğün (burada zaman) mutlak değeri değil, bunun, sistemin özelliklerini belirleyen aynı cinsten büyüklüklere olan oranıdır. π mezonları ve nükleonlar gibi birbirlerine kuvvetle etki-tepki yapabilecek olan elemanter parçacıklar, bunu, 10^{-23} saniye mertebesinde bitirirler. Yüzbinde-bir saniyede bunların 10^{18} kez birbirlerine etki yapabilecek zamanları vardır. Bu o kadar büyük bir zamandır ki, bize istatistik yöntemlerin temelinde bulunan hesapları rahatça ve serinkanlılıkla uygulama olanağını verir. Çekirdeklerin yoğunluk mertebesindeki bir yoğunluğa gelince, bu, bizi, büyük bir bölümünü incelediğimiz görüngülerin ötesine sürüklemez.

* Sonuçlar çok sadedir: uzayın belli bir bölgesinin boyutları, zamanın kare kökü ile orantılı olarak artar ve sıcaklık bu kare kökle ters orantılı olarak azalır.

Varlıklarını sürdürecek olan ve şimdi, galaksileri oluşturan elemanlar olarak karşımıza çıkan nükleonların sayısının küçüklüğü hakkında, şu, bir fikir verebilir: bunlar, ancak, ısı ışımasının tamamlayıcı parçası olan nükleonların milyarda-biri kadardır. Kaldı ki, bunları birbirlerinden ayırdetmek olanaksızdır, ama yalnızca şunu söyleyebiliriz ki, Gamow modelinde, çok yüksek sıcaklıklarda nükleonların sayısı, karşı-nükleonların sayısını, milyarda-birin bir kesri kadar aşar. Bu sayı, ne kadar küçük olursa olsun, maddenin daima orada varolduğunu ve esas olarak bir başlangıç verisi olduğunu varsayan teorinin temel bir parametresidir. Maddenin varoluşu kadar esaslı bir şeyin, nükleonlarla karşı-nükleonların bilançosu gibi küçük bir dengesizliğe dayanması garip görülebilir; kaldı ki, bu dengesizlik, derin bir gerekçe olmaksızın ortaya konmuştur; ilerde zihnimizi karıştıran bu soruna yeniden döneceğiz.

Genişleme sürdükçe sıcaklık azalır ve en ağır parçacıklar, ısı ışımasının içinde yokolurlar. Bu sonuç, soğumanın değil ışımanın ısınmasının tartışılması sırasında açıklanan sonuçtan çıkar. Sıcaklık ölçüsü olarak parçacıkların ortalama enerjisi alınırsa, ısı enerjisi rölativist kütle enerjisinden daha küçük olur olmaz, bu parçacıkların (gerçekte çok kural dışı bir biçimde) pek hızlı olarak kayboldukları görülür. Böylece nükleonlarla karşı-nükleonlar ilk kaybolanlar arasında yer alır. Saniyenin binde-birinin sonunda, ısı ışımasında bunlardan artık pratik olarak hiç biri kalmaz. Ancak, başlangıçta hafif bir fazlalık oluşturanlar varlıklarını sürdürürler ötekiler karşı-nükleonlarla çiftleşerek birbirlerini karşılıklı olarak yokederler.

Bundan sonra da Evrenin tarihi, oyuncuların birbiri peşinden kayboldukları, romantik bir dram görüntüsünü kazanır:

I. Perde. Kişilerin tanıtılması. Bu perde 10^{-4} saniye sürer ve *hadronik dönem* adını alır. Çünkü bu dönem parça-

cıkların birbirlerini kuvvetle (bu parçacıklara hadronlar adı verilir, *hadros* Yunancada kuvvetli demektir) etkileyebildikleri, yani bir çekirdekteki nükleonlar kadar kuvvetli etkileşme yeteneğine sahip parçacıkların bulunduğu biricik perdedir. Nükleonlarla karşı-nükleonların yokoluşundan sonra, hadronlar ailesinin son arta kalanları olan π mezonları da kaybolurlar. Geriye nötrinolar, elektronlar, pozitronlar, fotonlar (müonlar, kütleleri pek farklı olmadığından, ölümde pionları hemen izlerler) ve başlangıçtaki zayıf nükleon fazlalığı sahnede kalır.

II. Perde. Bu perde, aşağıyukarı bir çeyrek saat sürer ve pozitronların tamamıyla sönmesi ile son bulur. Bu sırada, bu pozitronlar elektronların çoğunu da beraberlerinde sürüklerler. Elektrik yükünün sakınımı yüzünden ne kadar elektron varsa tastamam o kadar da nükleon kalır; bu nükleonlar zorunlu olarak protonlardan ibarettir. Birinci perdenin sonunda nükleonların yarısını oluşturan nötronlar,

$$\nu + n \rightarrow p + e$$

gibi tepkimeler yüzünden arada protonları doğurmuşlardır; açık bir deyişle bu, bir nötrino bir nötrona raslayınca bir proton ile bir pozitron doğuruyor ve bu sonuncusu da daha sonra yokoluyor demektir.

Seyircilerin dikkatini uyandırmak için bu perde boyunca birdenbire ilginç bir değişme meydana gelir: gerçekten nükleonlar birbirleri ile tepkime haline girerler ve daha ağır çekirdekleri, özellikle helyum çekirdeklerini doğururlar. İlerde bu sahneye yeniden dönmek fırsatını bulacağız.

Bu ikinci perdeye *leptonik dönem* denir. Leptonlar adı, toplu olarak, elektronları, pozitronları, nötrinoları ve hatta bundan başka müonları da gösterir. Sonunda sahnede fotonlarla, protonlar ve elektronlar arasından arta kalanlar yeralır. Daima hazır bulunan nötrinolar bundan sonra ancak sessiz kişiler rolünü oynayacaklardır ve kuliste kalmışlardır.

III. Perde. Bu, bir milyon yıl süren görkemli bir perde-

dir. Burada fotonların önce yükselişi seyredilir ve sonra onların çöküşü görülür. Isı ışımasını oluşturan öteki bileşenlerin tersine, bunların sayısı azalmaz, çünkü, kütleleri sıfır olduğundan, bu fotonların yokolmasını belirleyebilecek olan belli bir sıcaklık onlar için sözkonusu değildir. Bununla birlikte, uzayın genişlemesi sonucu, yoğunlukları gittikçe azalır. Bunun gibi, sıcaklık ile birlikte ortalama enerjileri de azalır, çünkü bu enerji, ortalama olarak ısı enerjisi mertebesinde kalır.

Bütün bu perde boyunca, protonlarla elektronlar ayrı kalırlar ve atomlar halinde bağlanmaya yönelmezler, çünkü, onların ısı hareketleri henüz çok büyüktür. Fotonların sayısı gibi, onların sayısı da değişmez, çünkü, elektronlarla protonların sayısının fotonlarınkine oranı, milyarda-bir olan bu büyülü değere eşittir.

Perdenin başında maddesel parçacıklar (protonlarla elektronlar), sayılarının azlığı yüzünden önemsiz bir rol oynuyorlardı, ve bütün sahne önü, genişleme olayını tamamıyla enerjileri ile belirleyen fotonlar tarafından ele geçirilmişti. Bununla birlikte, yavaş yavaş, bu enerjinin azalması sonucu, maddesel parçacıklar üstünlük kazanmaya başlarlar. Bir 500.000 yıl sonunda onlar kütleleri ile genişlemenin temposunu denetlemeye yönelirler. Bununla birlikte, basınca olan katkıları bakımından sonuna kadar önemsiz kalırlar.

Bu dönem, burada fotonların oynadıkları temel rol yüzünden, ışımalı dönem adını alır.

IV. Perde. Bu, yıldız dönemi, yani içinde bulunduğumuz dönemdir ve bizim bakımımızdan en ilginç olanıdır. Bu dönem, atomların, galaksilerin, ağır çekirdeklerin, yıldızların doğumu gibi çok büyük olayları bize göstermeli idi. Ama, şimdiye kadarı ile, bir parça canlılığı eksik olan bir tarihin başta gelen görüşlerinden birini oluşturan, III. perdeden IV. perdeye geçiştir.

Şimdi III. perdenin, ışımalı dönemin sonunda, yani 600.000 yılı ile iki milyon yılı arasında, neler olduğunu düşünelim.

Evrenin sıcaklığı yavaş yavaş, aşağıyukarı 5.000'den 2.000 dereceye düşer ki bu, soğuk yıldızların yüzeyinde bulunan sıcaklıkların mertebesidir. Maddesel parçacıkların yoğunluğu da, santimetre küpte 10^{-22} gram düzeyinde, yani her santimetre küpte yaklaşık 1.000 parçacık mertebesinde kalmakla birlikte, genişleme sonucu yavaş yavaş azalır. Isı fotonları bunun bir milyar katıdır.

Işımalı dönemin sonunu gerçekten gösteren şey, protonlarla elektronun ısı hareketlerinin, onların atomlar halinde birleşme eğilimlerine karşı koymaya artık yeterli olmayışıdır. Atomların bu oluşması 3.000 derece yakınında meydana gelir ve birkaç yüzbin yıl sonunda tamamıyla sona ermiş olur. O zaman, yüklü parçacıklardan, protonlarla elektronlardan oluşan bir gazdan nötr hidrojen atomlarından oluşan bir gaza geçirilir. Işımalı dönem bir ölümle değil bir doğumla, atomların doğumu ile son bulur.

Onların içinde yüzdükleri gazın yapısındaki bu değişme, ısı ışımasındaki fotonların davranışında belirleyici bir rol oynar. Gerçekten, ışımalı dönem boyunca bir foton bir elektrondan bir başkasına gidiyor, onlarla birlikte sıçrıyor ve etkileşiyordu, bu da enerjilerinin eşitleşmesini ve böylece toplu ısı dengesini sağlıyordu. Şu halde, atomlar, serbest elektronlara göre çok daha az bir biçimde fotonlarla etkileşme halindedirler. Böylece atomların oluşumu süresince, madde ile etkileşmeden önce fotonlar gitgide daha uzun sürelerde daha fazla yolalırlar.

Evrenin gelişmesinin bir sonucu da atomların yoğunluğunun azalmasıdır, çünkü her atoma düşen uzay hacmi artmıştır. Bunun sonucu olarak fotonlar, uzayı gittikçe atom-

lardan boşalmış bulurlar ve böylece yutulmadan önce, daha da büyük yollar aşarlar. Sıcaklığın düşmesi olayı da, birçok sonuçların birleşmesi ile, her atomun bir fotonu yutabilme olasılığını daha da azaltır. Kısaca, Evren genişledikçe bir fotonun saçılması ile yutulması arasında geçen zaman artar.

Böylece, öyle bir an gelir ki, düzen zıvanadan çıkar. Bunu anlamak amacı ile, kendisi için fazla yaşlı bir dünyada çok geç doğan bir fotonu izleyebiliriz. Doğduğu zaman bu fotonun önünde uzun bir ömür umudu, diyelim ki bir milyon yıllık bir ömür umudu var gibi görünür; bu sayıyı, tam bu anda henüz serbest olan atomlarla elektronların yoğunluğunu hesaba katarak kestirebiliyoruz. Böylece foton bir milyon yıl uzayda dolaşır. Ama bu süre boyunca Evren o kadar genişlemiş, elektronların yoğunluğu o kadar azalmıştır ki, doğuşundan bir milyon yıl sonra foton bunlara raslamaz ve şimdi önünde yüz milyon yıllık bir yaşam umudu daha belirir. Ve bu oluşum sürüp gider, bu kez yoğunluğunun azalması ile madde, fotonlar karşısında gittikçe silinir, bu fotonlar artık atomlarla etkileşmeyi başaramazlar.

Böylece, öyle bir an gelir ki fotonlar artık madde ile etkileşemez olurlar ve, Evrende, denizin ortasındaki bir gemi gibi hiç bir zaman limana varmadan, son bir atoma raslamadan yalnız kalırlar. Bu dikkate değer görüngü, Evrenin ısı dengesinde bulunduğu devrenin sonunu gösterir. Bunun oluşu aşağıyukarı, sıfır zamanından bir milyon yıl sonradır. O zaman sıcaklık 3.000 derecede idi.

Isı fotonlarının tarihi burada bitmez. Aralarından pek azı bir yana bırakılırsa, atomlara raslamadıklarından, onların kaybolma olanakları bile yoktur. Araçlarımızdan birinin, bugün, bu fotonlardan birini kaydettiğini düşünelim, ne göreceğiz? Bu foton çok erken, on milyar yıl kadar önce saçılmıştı. Bütün bu süre içersinde gittikçe artan bir hızla kaynağı ondan uzaklaştı, öyle ki, şimdi onu yakaladığımız za-

man, o, kırmızıya doğru büyük bir kayma göstermektedir.* Şu halde, daha önce söylediğimiz gibi, bir ısı ışımasının tayf çözümlenmesinden, kaynağın sıcaklığı bulunabilir. Eğer, eski zamanların sıcak Evreninin fosil kalıntısı olan bu evrensel ışımanın çözümlenmesi yapılırsa, kırmızıya olan sistematik kayma bu ışımanın, çok soğuk bir ışıma olduğu sonucunu verir.

Bu ışımanın ne kadar soğuk olduğunu ölçmek için —273 santigrat dereceden daha aşağı bir sıcaklığın bulunmadığını anımsatalım. Gerçekten bu sıcaklıkta bütün ısı hareketleri sıfır olmuşlardır. Böylece fizikte sıcaklıkları bu alt sınırdan başlayarak ölçmek ve sıcaklığın —273°C olduğunu söyleyecek yerde, mutlak sıfır derecesinde, ya da Kelvin derecesinde olduğunu söylemek âdet olmuştur. Sıcaklık —270°C olacak yerde 3 derece Kelvin (3°K)'dir, vb..

Fosil ışımanın izlemesi gereken gelişmeyi hesaplarken 1948'de Gamow, bunun daima ısı görünüşünde, ama şimdi birkaç mutlak derece bir sıcaklık göstermesi gerektiğini önceden söylemişti (hesap kesin olmayarak 6°'yi veriyordu).

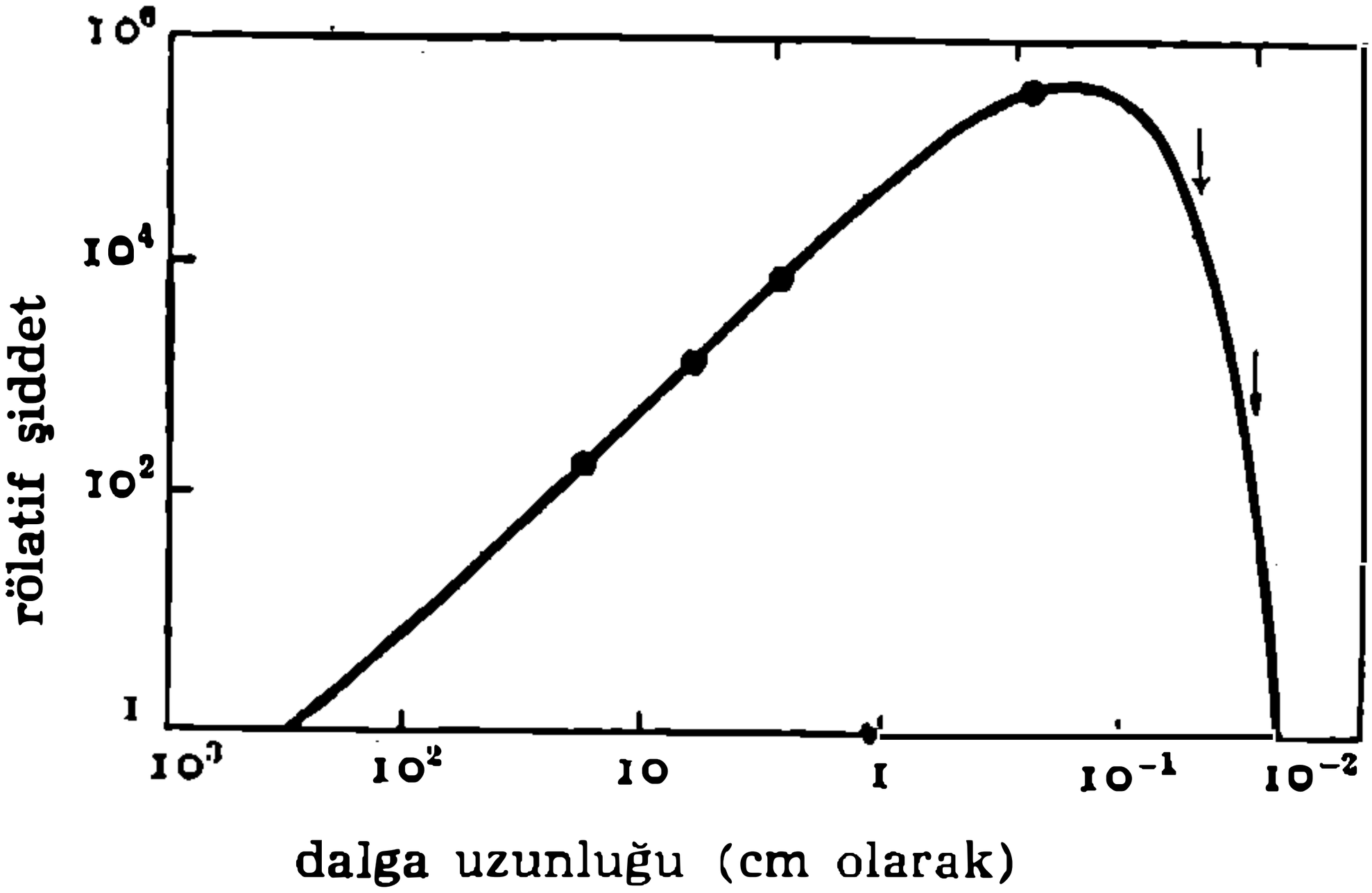
1965'te *Bell Telephone Laboratory* deneycileri Penzias ve Wilson, yaklaşık 7 santimetre dalga uzunluğu bandında, son derece kesin bir radyo ışımasını ölçmeyi gerçekleştirdiler. Aslında bilmedikleri Gamow teorisini hiç de sağlamak niyetinde değillerdi. Tam olarak izotrop, yani hangi yönde gözlenirse gözlensin, şiddeti aynı olan bir ışımanın varlığını bulunca çok şaşırdılar. Böyle bir izotropluğun ancak bu ışımanın Güneşten ya da bizim galaksimizden gelmesi halinde, açıklanması olanaklı olabilirdi. Ayrıca bunun daha uzaktan geldiğini ve böylece Evreni doldurduğunu kabul etmek gerekiyordu. Daima aynı izotroplukla karşılaşılarak daha sonra başka dalga uzunlukları (70 santimetre, 3 milimetre, 2,5 milimetre) şeritlerinde başka ölçmeler yapıldı.

* Aslında kırmızıya doğru olan bu kaymayı, genel rölativitenin, önceden bildirdiği, gravitasyonel bir etki olarak da yorumlayabiliriz. Sonuç aynıdır.

Bu farklı dalga uzunluklarında ölçülen ışıma şiddetlerini karşılaştırınca görüldü ki, bunlar, sıcaklığı mutlak 3 derece olan bir ısı ışımasından beklenebileceği şekilde dağılmaktadırlar.

[ŞEKİL — 28]

KOZMİK RADYO IŞIMASININ TAYFI



Noktalar ölçünün sonuçlarını, eğri ise 2,7 mutlak derecedeki bir ısı ışımasının teorik tayfını gösteriyor. Galaksinin ve yerkürenin radyo ışımaları nedeni ile gözlemi, araştırılan alandan daha ileri götürmek güçtür.

Çok geçmeden, bu ışımanın birçok yıl önce Gamow'un önceden haber verdiği ışıma olduğu anlaşıldı. Bu buluş evrenbilimde bir devrime işaret olacaktı. Çünkü, ilk kez, evrenbilimsel bir teori önceden haber verme gücünü ortaya koymuştu. Özellikle, uydular aracılığı ile daha çok sayıda gözlemler yapılacağı zaman, Evrenin paleontolojisinin 1965'te başladığı herhalde söylenebilecektir.

BİR BİLANÇO

Gamow teorisinin bilançosunun ana çizgilerini şöylece ortaya koyabiliriz:

— Parlak bir başarı: evrensel ısı ışımasının açıklanması;

— kısmî bir başarı: hafif çekirdeklerin başlangıcı;
— bir soru işareti: galaksilerin başlangıcı;
— zihni tırmalayan bir soru: maddenin başlangıcı.

Bu teorinin evrensel ısı ışıması konusundaki açıklamasını şimdi tartıştık, bu yüzden hemen ikinci noktaya, çekirdeklerin başlangıcı ya da çekirdek bileşimi noktasına geçebiliriz.

Hadronik dönem boyunca görülen modeldeki gibi çok sıcak bir evrende, birçok nükleonlardan oluşan atom çekirdekleri bulunamaz. Gerçekten de ısı hareketlerindeki büyük enerjinin doğurduğu şiddetli çarpmalar, böyle bir çekirdeği hemen parçalayacaktı. Öyleyse hadronik dönemin sonunda, madde ancak protonlar ve nötronların ilkel biçiminde bulunabilir. Böyle olunca doğada bol bol yayılmış olan karmaşık çekirdeklerin nereden geldiklerini kendi kendimize sorabiliriz.

Başlangıçta, Gamow, bu soruyu şu şekilde yanıtlayabileceğini sandı: leptonik dönem boyunca, ilk dakikanın sonuna doğru, sıcaklık birkaç milyar derece mertebesinde olduğu sırada, ısı hareketi artık o kadar şiddetli değildir. O zaman nükleonların çarpışma durumuna gelmeleri ve çekirdekleri meydana getirerek birbirlerine bağlanmaları olanağı vardır. Deney alanında iyice bilinen bu görüngüye çekirdek kaynaşması (*fusion*) denir. (Bu görüngü, bir H bombasının patlaması sırasında meydana gelir. Hidrojen ve döteryumdan, yani sudan, radyoaktif kalıntılar üretmeksizin nükleer enerji elde etmek için bu olaya egemen olma düşlenmektedir.)

Çekirdek kaynaşmasının bu etkisinin hesabı bütün ayrıntıları ile yapılabilmiştir. Böylece modelin, yalnız başına, çekirdeklerin doğal bolluğunu açıklamaya yetmediği görülmüştür. Genel bir kural olarak bu, ancak, helyum, döteryum gibi hafif çekirdekleri ve gereğinden çok az ağır çekirdekleri meydana getirmeye elverişlidir. Bunun nedenini, nük-

leon bileşmesinin gerçekleşebileceği anda, çok az sayıda çarpışmaların meydana gelmesine neden olan ve maddenin o sırada çok zayıflamış bulunan yoğunluğunda ve Evrenin uygun koşullarda geçirdiği zamanın çok kısa olmasında aramak gerekir. Gerçekten, sıcaklık açıkça bir milyar derecenin altına düştüğü zaman, ısı hareketi artık nükleonların ya da çekirdeklerin birbirine takılmasına olanak sağlayacak kadar zayıflamıştır. Daima pozitif olan elektrik yükleri ile çekirdekler, elektrik bakımından birbirlerini itmeye doğru giderler. Öyleyse nükleon birleşmesi, ancak, oldukça dar bir sıcaklık alanında meydana gelebilir; burada ısı hareketi, protonları birbirleri ile temas haline getirecek kadar güçlü olduğu gibi, çekirdek kaynaşmasının sonucu olan karmaşık çekirdekleri parçalayamayacak kadar da ılımlıdır.

Helyum ile döteryumun bu şekilde meydana gelmiş oldukları, gerçeğe çok yakın görünüyor.

Kaldı ki, şimdi, ağır çekirdeklerin gerçekte, Evrenin tarihinde çok daha geç, yıldızların ortasında meydana geldikleri konusunda artık kuşku kalmamıştır.

Bu modelin çerçevesinde aslında hiç bir zaman doyurucu bir biçimde yanıt verilememiş olan çok daha nazik bir soru, galaksilerin başlangıcı sorusu yer alır. Bu kitabın ikinci bölümünde bu soruya döneceğiz.

Gamow teorisinin, son olarak, maddenin varlığını açıklamadan onu kabul etmesi gibi bir sakıncası vardır. Eğer model, şimdiki maddeyi oluşturan az sayıda nükleonun, başlangıçta ısı nükleonları ve karşı-nükleonlar çokluğuna eklenen çok küçük bir miktar olduğunu önceden bildirmese idi, bu kabul edilebilirdi.

BAŞLANGIÇ TEKİLLİĞİ SORUNU

Sıfır zamanında bir başlangıç tekilliğinin yer aldığı görüşünde, aykırı bir şey vardır. Gerçekten, hiç bir işaret,

hiç bir etki ışıktan daha büyük bir hızla yayılamaz; böylece sıfır anından pek az zaman sonra, Evrenin her parçası, hiç bir işaret ya da etki alamadığı öteki parçalarından habersizdir.

Öyleyse nasıl oluyor da evrensel ısı ışıması, bize ulaştığı doğrultu ne olursa olsun, aynı şiddet ve aynı tayfla birlikte bize aynı gibi görünebiliyor? Halbuki bunlar, geliş doğrultularına göre birbirlerinden çok uzak olan, farklı uzay bölgelerinden gelmektedirler. Bu bölgeler şimdi gözlenebilen Evrenin bir ucundan öteki ucuna kadar, bu ışımayı saçtıkları anda, henüz birbirleri ile haberleşme olanaklarından yoksundular. Öyleyse ışımanın tam izotropluğunda temelde gizli bir güçlük bulunmaktadır, ve bu, fiziksel hiç bir şeyin ışıktan daha hızlı gidemeyeceği gerçeği ile çelişir görünmektedir. Gerçekten, birbirinden öylesine uzak bölgelerden aynı ışımayı alıyoruz ki, bunların arasındaki uzaklık, ışığın yayılmaya başladığı andan bu yana, Evrenin bütün ömrü boyunca gidebileceği uzaklıktan fazladır. Aralarında bağlantı bulunmayan bu bölgeler nasıl oluyor da tastamam aynı biçimde davranmaya zorlanmışlardır?

Bunlar, özellikle güç olan ve durmadan karşımıza çıkan soruyu yeniden ortaya atmaya zorlayan sorunlardır: ya daha önce? Pratik bakımdan (bu söz evrenbilimde pek yersiz sayılmazsa) denebilir ki, bu bölgeye ait her anının, geçmişin her izinin silinmiş olması için, belli bir bölgesinde Evrenin ısı dengesinde bulunmuş olması yeterlidir. Böylece ortaya atılan mantıksal sorun yine de en ciddî düşüncelere konu olarak kalmaktadır.

KARŞI-MADDENİN KOZMOLOJİLERİ

Karşı-parçacıklara daha önce raslamış ve pratik olarak, deneyle bilinen bütün parçacıkların karşı-parçacığı olduğunu söylemiştik. Bu noktada, deneyden önce gelmesi gereken

teori bakımından, bunun başka türlü olması düşünülemez, yoksa fiziğin temellerinden kuşkulanmak gerekir. Şu anda, atom fiziğinin ve elektrodinamiğin (optik de buna girer) bütününü ve elemanter parçacıklar fiziğinin büyük bir bölümünü kuşatan son derece tutarlı ve verimli olan teorik bir yapıya sahibiz. Kuantik elektrodinamik adını taşıyan bu yapı, başka birçokları arasında, milyonda-bire üstün bir kesinlikle hidrojen atomunun enerji düzeylerini hesaplamayı olanaklı kılmıştır. Yüksek enerjili parçacıkların yardımı ile yapılan deneyler, 10^{-14} santimetreden (bir protonun yarıçapının onda-biri) küçük uzaklıklara kadar kuantik elektrodinamik yasalarının bütünü ile sağlanmış olarak kaldıklarını gösterebilmiştir. Böyle bir teorinin, optikte yol göstererek, gökbilimsel uzaklıklara da uygulandığı anımsanırsa, başarısının derecesi anlaşılacaktır. İşte karşı-madde teorisi böyle güçlü bir temele dayanmaktadır. Karşı-maddenin optik özelliklerinin, maddenin optik özellikleri ile aynı olduğu güvencesini bize veren kuantik elektrodinamiktir.

Optik özelliklerin özdeş oluşu, bir cismin yalnızca ışımasını (bu ışıma ister görülür, ister radyoelektrik ya da X ışınları şeklinde olabilir) gözlemekle, onun madde ya da karşı-maddeden oluştuğunu anlamamızı olanaksız kılar. Bize yakın olan ve tanıdığımız şu galaksi, karşı-maddeden yapılmış olabilir.

Bizim galaksimize gelince, hiç değilse onun en büyük bölümünün, maddeden oluştuğuna emin olabiliriz. Gerçekten de başka türlü olsaydı, yıldızlararası toz, bizim çoktan saptamış olacağımız yokoluş görüngülerini doğuracaktı.

Deneyler, yeni karşı-parçacıkları günışığına çıkardıkça ve teori yeni başarıların yığıldığını gördükçe, Evrende karşı-maddenin gerçekten varoluşu sorunu daha da ivedi bir biçimde karşımıza çıkıyordu. Karşı-galaksiler var mıdır, yok mudur?

Karşı-maddenin varlığını kabul eden ilk evrenbilimsel

teori, 1962'ye doğru, her ikisi de İsveçli olan, Alfvèn ile Klein tarafından ortaya atıldı. Ne yazık ki bu teori, *big bang* modelininkinden farklı bir uzay-zaman modeline dayanıyordu ve *big bang* teorisi ortaya çıktıktan sonra bu modelin terkedilmesi gerekti. Bu terkedilişin iki nedeni vardı: önce, Alfvèn ile Klein'in teorisi, evrensel ısı ışımasının varlığı ile uzlaşmaz görünüyordu; öte yandan, gama ışınlarının gözlemleri ile saptanabileceğinden çok daha yüksek bir yokolma hızını öngörüyordu.

Şu anda evrensel ısı ışımasının varlığı, *big bang* modelinin çeşitli türleri olması gereken gelişim modellerini gözönünde bulundurmaya bizi zorluyor. Bizi bu görüşe bağlayan maddenin yapısı olduğuna göre, Gamow tarafından âdeta geçiştirilmiş olan bir temel sorunu ortaya atmaya bizi sürüklüyor: madde nereden geliyor?

Karşı-maddenin varolabileceği kabul edilir edilmez, maddenin oldukça doğal bir başlangıcı düşüncenin karşısına çıkıyor. Biliyoruz ki, hadronik dönemde, ısı ışımasında, nükleonlarla karşı-nükleonların, yani aslında madde ile karşı-maddenin bulunması gerekmektedir. Bu koşullar altında şimdiki maddenin bir kalıntı, hadronik dönemin parçacıklarının bir fosil artığı olduğu düşünülemez mi?

Bu soru, apaçık bir yanıtı gerektirmiyor. Gerçekten de, hadronik dönemde, nükleonlarla karşı-nükleonlar içiçe girmişlerdi. π mezonlarının çarpışması sırasında çifter çifter oluşarak, durmadan birbirlerini yokediyor ve yeniden meydana geliyorlardı. Böylece karışmış olarak kalmışlarsa, daha sonra, yeniden yaratılmalarına elverişli olacak kadar düşük bir sıcaklık meydana gelince, başka parçacıkların çarpışmaları ile onlar ancak birbirlerini yokedebilirlerdi. Böylece bu, bizi, daha kesin bir soru ortaya atmaya sürüklüyor: ısı ışımasının nükleonları ile karşı-nükleonlarının, hiç değilse bir bölümünün ayrılmış bulunmalarını sağlayacak bir mekanizma var mıdır?

Eğer varsa, bu ayrılma görüngüsü, ışımada henüz çok sayıda nükleonların bulunduğu hadronik dönem boyunca meydana gelmiş olmalıdır, daha sonra değil. Bu işaret, burada daha açık bir görüşe ulaşmamıza yardım edebilir. Hadronik dönemde Evrenin durumunu gözönüne getirmeye çalışalım. O zaman orada çok büyük bir nükleonlar, karşı-nükleonlar ve mezonlar yoğunluğu bulunuyordu. Bunlar, çekirdeklerdeki nükleonların yoğunluğunu bile aşıyorlardı. Bundan esinlenemez miyiz? Bildiğimiz gibi, çekirdeklerde, çekirdek kuvvetleri üstün gelmektedir. Hadronik dönemde kuvvetli karşı-etkiler denilen ve aynı türden olan güçlerin de belirleyici bir rol oynamaları gerekirdi. İşte sorunumuz, iyice tanımlanmış bir fizik sorusu gibi, açık bir biçimde ortaya konulmuş oluyor: kuvvetli karşılıklı-etkiler, nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılmasını gerektirebildiler mi?

Bu soruya karşılık vermeyi denemeden önce bir an için ondan daha ilerisini görmeye çalışalım. Bir ayrılma (*Séparation*) mekanizmasını bulacağımızı varsaysak bile, bu, şimdi gördüğümüzü açıklamaya yetecek midir? Bu noktada biraz önce ne söylediğimizi anımsayalım: bütün Galaksimiz bir tek cins maddeden oluşmuştur. Öyleyse biraz nükleon maddesini, şurada ve burada, biraz karşı-maddeden ayırmak yeterli değildir, ayrılan kütlelerin hiç değilse bir galaksi kütlesine eşit olmaları da gerekir. Bu düşünülebilir mi?

Bu ek koşulun sorunumuzu son derece karmaşık bir hale koyduğunun hemen farkına varılabilir. Gerçekten de, hadronik dönem sırasında, herhangi bir ayırma mekanizmasının iş başında olduğu düşünülebilse bile, bu, bir galaksinin kütlesi kadar büyük kütleleri birbirinden ayırmaya olanak sağlayamayacaktır. Bunun nedeni çok basittir; hadronik dönem ancak 10^{-4} saniye sürer. Hiç bir fiziksel etki, 10^{-4} saniyede 3×10^{6} santimetre yolalan ışıktan daha hızlı yayılamayacağına göre, bundan, başlangıçtaki ayırmanın kuşkusuz ancak 10^{6} santimetreden çok küçük bir boyuttaki bölgeleri etkileyebilece-

ği sonucu çıkar. O halde, yarıçapı bu değerde olan bir küre, hadronik dönemin sonuna doğru, bir galaksi kütlesini değil, yalnızca, bir yıldız kütlesini kapsayabilir. Öyleyse, birçok milyarlık bir çarpan farkıyla istediğimiz noktadan uzakta bulunmaktayız.

Böylece burada izlediğimiz düşünce zincirinin bir anlamı varsa, hadronik dönemin bitiminde maddenin, ayrıldıktan sonra çok daha büyük bütünler şeklinde toplanmış olması gerekir.

Eski bir geleneğe uyarak, başlangıçta ayrılmış olan kütlelerin büyüklük mertebesini artıran bu varsayımsal mekanizmaya bir ad vereceğiz: Buna *birleşme* (*coalescence*) denir. Bu, başlangıçtaki ayrılma mekanizması ile her türlü karıştırmayı önlememizi sağlayacaktır.

Ayrılma, ancak kuvvetli karşılıklı-etkilerin sonucu olabilirdi ve böyle olunca hadronik dönem içinde meydana geldi. Şimdi gördüğümüz gibi bir birleşme çok daha uzun bir zamanı gerektirir. Öyleyse büyük bir olasılıkla Leptonik dönemle ışımalı dönem boyunca, 10^{-4} saniye ile bir milyon yıl arasında meydana gelmiştir. Bu dönemlerde çekirdek kuvvetlerinin ancak çok sınırlı bir etkisi olabilmiştir. Çünkü bu kuvvetler ancak çok küçük uzaklıklarda en fazla bir fermi (10^{-13} santimetre) içersinde etkilerini gösterebilirler, o sırada ise parçacıklar, kuvvetli karşı-etkilerin onlar üzerinde önemli sonuçları olamayacak kadar, birbirlerinden uzaktırlar. Öyleyse birleşmenin etkisinin özü, ayrılmanınkinden çok farklı olmak gerekir.

Bu yeni sorun karşısında, yönelmemiz için, Evrende madde kadar karşı-madde bulunduğunu ve hepsinin kuvvetli bir ışıma basıncı gösteren bir ısı fotonları banyosuna daldığını varsayalım. Evrenin ışımalı dönemdeki görünüşünün ne olabildiğini yeniden düşünelim. Madde ile karşı-maddenin, gravitasyonel olduğu kadar, elektromanyetik özellikleri de aynıdır, öyle ki, bu bakımdan, bu Evren modeli ile Gamow

modeli arasında hiç bir fark yoktur, bir kez daha söyleyelim: biricik fark madde ile karşı-maddenin temas halinde olduğu yerde kendini gösterir. Şu halde hareket edilmesi gereken nokta budur.

Nereye ulaştığımızı hesaplarsak, görürüz ki, maddenin başlangıcı sorusunu aydınlatmak için, iyice tanımlanmış iki sorunun çözümünden geçmek gerekir:

1° Kuvvetli karşılıklı-etkiler, çok yüksek sıcaklıktaki ısı ışımasının nükleonları ile karşı-nükleonları arasında bir ayrılma meydana getirebilirler mi? Bu ayrılma sorunudur.

2° Ortak bir sınır boyunca madde ile karşı-maddenin karşılıklı yokoluşları, bunların herbirini gittikçe daha geniş bölgelerde yeniden biraraya getiren hareketler doğurabilir mi? Bu birleşme sorunudur.

Bu sorunların herbiri, evrenbilimsel başlangıçtan büyük ölçüde bağımsız olan, iyice belirlenmiş bir soru ortaya atar. Kısaca bunlar doğanın karşımıza çıkardığı ve elimizden geldiği kadar çözmeye çalışmamız gereken iki fizik problemidir. Ne yazık ki, bunlardan hiç biri için deneysel yola başvuramayız, çünkü laboratuvarda yeterince yüksek sıcaklıkları ya da yeter miktarda karşı-maddeyi gerçekleştirme olanağımız yoktur. Öyleyse önlenmez bir biçimde, daha az kesin olan bir teorik çözümlemeye başvurmamız gerekiyor.

MADDE İLE KARŞI-MADDENİN AYRILMASI

Kuvvetli karşılıklı-etkiler çok yüksek sıcaklıktaki teorik ışımanın nükleonları ile karşı-nükleonları arasında bir ayrılma meydana getirebilir mi? Önce bu ayrılma sürecinin yapısının ne olabileceğini görelim.

Genel olarak fizikte başlıca üç türlü ayrılma olayı biliyoruz.

Birinci mekanizma faz değişimleri mekanizmasıdır. Bunun en iyi bilinen örneği, sıvı ile buharın ayrılma mekaniz-

masıdır. Gerçekten, biliyoruz ki, yüksek sıcaklıkta bir su buharı gazından hareket edersek (normal basınçta ve yüz derecenin üstünde) ve bunu soğutursak, başlangıçta homojen olan bu gaz, su damlacıkları ile buhara ayrılacaktır. Bunun gibi font'u ağır ağır soğutursak bundaki kömürle demir birbirlerinden ayrılırlar.

İkinci mekanizma, raslantının bir sonucudur. Bu, bazı fizik büyüklüklerin olanaklı dalgalanmalarına bağlıdır ve bundan, örneğin, uranyum izotoplarını ayırmada yararlanılır. Tartışmamızda bu hiç bir rol oynamayacaktır. Öyleyse, bunu ayrıntılı olarak incelememek daha uygundur.

Üçüncü mekanizma yüzey gerilimine bağlıdır. Zeytinyağı ile sirke gibi birbirine karışamayan iki sıvı temas halinde oldukları zaman, yüzeyin yakınında bulunan sıvı moleküllerinin etkisi yüzey ile orantılı bir enerjiyi ve bunun sonucu olarak, temas yüzeyini hareket ettirme eğiliminde olan kuvvetleri meydana getirir. Bilindiği gibi bu hareketler, sonunda, yağ ile sirkeyi birbirinden ayırır.

Bu mekanizma türlerinin, evrenbilimin zorunlu kıldığı çok özel fizik koşullarda alabileceği biçimleri görmek için, bu türler, topluca gözden geçirilebilirler. Böylece, uygun olmayanlar atılabilir ve sonunda daha kesin iki soruya varılabilir:

— Başlangıçtaki ayrım bir faz değişiminden mi ileri geliyor?

— Birleştirme, madde ile karşı-madde arasında bir yüzey geriliminin etkisinden mi doğuyor?

Bu sorulardan birincisini ele alalım ve bu tür bir faz değişimi sonucunun ne olabileceğini araştıralım. Bunun için bildiğimiz bir cismi akılalmaz sıcaklıklar, hadronik dönemde görülen sıcaklıklara benzer sıcaklık derecesinde ısıttığımızı düşünelim. Isıtılan bu cisim protonlarla elektronlara ayrılacaktır ve bir ısı ışıması ile kuşatılmış olacaktır. Yeterli sıcaklıklar derecesinde sistemde ısıtılan çekirdeklerden ge-

len nükleonlar ile ışımaya ait olan başka nükleonlar bulunacaktır. Kaldı ki, bunlar birbirinden hiç de ayırt edilemeyeceklerdir. Fazla olarak ışımada karşı-nükleonlar da bulunacaktır. Nükleonlarla, karşı-nükleonların toplam sayısı sıcaklıkla artarken, aralarındaki fark olduğu gibi kalır. Bu fark ısıtılan cismin çekirdeklerinde başlangıçta bulunan nükleonların sayısına eşittir. Bu sakınım özelliği, kendini, parçacıklar fiziğinde, güçlü bir şekilde kabul ettirmiştir.

Burada faz değişimi bulunduğunu söylemek, *kritik sıcaklık* denilen belli bir sıcaklığın üstünde, nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılmaya doğru gideceklerini söylemek demektir. Nükleonların sayısının karşı-nükleonlarınkinden fazla olduğu bölgeler ve bunun tersinin meydana geldiği tamamlayıcı bölgeler oluşacaktır. Bu bölgelerin boyu, ısınma sürecinin ayrıntılarına, onun azçok hızlı oluşuna bağlı olacaktır, ama karşılıklı toplam hacimleri, nükleonlarla karşı-nükleonlar farkının sabit değerini koruyacak biçimde, ayarlanmış olacaktır.

Gerçekte bu görüngü, buharla sıvı arasındaki faz ayrılmasına çok benziyor. Bu sonuncusu, sıcaklık azaldığı zaman çevreyi, farklı yoğunluk (sıvı ve buhar) bölgelerine ayırmaktan ibarettir. Karşımızdaki durumda, çevre, karşıt *baryonik* (bu terim, nükleonların yoğunluğu ile karşı-nükleonların yoğunluğu arasındaki farkı gösterir) yoğunluklar gösteren nükleon ve karşı-nükleon bölgelerine ayrılmıştır. Teorik bakımdan bu iki görüngü büyük bir benzerlik gösterir. Burada başlıca fark, ayrılmanın sıcaklık azaldığı zaman değil, tam tersine çoğaldığı zaman meydana gelmesindedir. Bunun nedeni ise ayrılma olgusunun, gerçekte, ilerde göreceğimiz gibi, sıcaklık yükselmeden ortaya çıkmayan çok yüksek nükleon yoğunlukları ile ilişkili olmasıdır.

Bu davranışın anahtarı termodinamiğin elindedir: en olası hali gerçekleştirdiği takdirde, ayrılma zorunlu olarak meydana gelmelidir.

Geriye, durumun böyle olup olmadığını bilmek kalıyor. Bu, ayrılmanın varlığını araştıran teorik sorunu karşımıza çıkarıyor; ne yazık ki, bu, kolay bir sorun değildir. Bu, gerçekten de fiziğin en nazik konularından ikisini, elemanter parçacıklar arasındaki kuvvetli karşılık-etkiler konusu ile faz değişimlerinin temelleri konusunu biraraya getiriyor. Bugünkü günde, pek az yıl içersinde, bu alanlarda ilerlemeler ya da düzeltmeler gerçekleştirilmiştir ve ayrılma sorununun, katmerli olarak, bilgilerimizin sınırında bulunduğunu kendi kendimizden gizlememeliyiz. Bu demektir ki, şu anda kesin sonuçlara varılamaz, ancak, önemli fizik koşulların bir parçasını içeren yarım kalmış matematik modelleri incelemekle yetinmek gerekir. Olsa olsa modelleri, içlerinden en az birinde temel koşulların tümüyle bulunacağı biçimde çeşitlendirerek, ayrılma mekanizmasının olanaklı ve hatta doğruya yakın olduğundan emin olmak olanaklıdır. Bu aşamayı geçmek için, herhalde fizikte temelli ilerlemeleri beklemek gerekecektir.

Şimdi anlatmak istediğimiz gibi, bazı matematik modeller, ayrılma sonucunu doğururlar. Kuşkusuz böyle bir yapıtta, bunları betimlemek sözkonusu olamaz. Buna karşı, burada iş başında bulunan kuvvetlerin hangileri olduğunu göstermeye çalışmak zahmete değer.

Daha yakın bir örnek alırsak, düşük sıcaklıkta su buharının neden sıvılaşmaya hatta katılaşmaya doğru gittiğini kendi kendimize sorabiliriz. Bunun nedeni, moleküllerin birbirlerine karşı olan çekici kuvvetleridir; bunlarda ısı hareketleri oldukça zayıf olup, böylece, sıcaklık, oldukça düşük bir dereceye gelir gelmez, moleküller birbirleri ile birleşmeye çalışırlar.

Ayrılma haline gelince, burada tersine, bir nükleonla bir karşı-nükleon arasında görülen bir itme sözkonusu olacaktır. Bu itmenin varolduğu henüz deneysel yoldan kanıtlanmamıştır, bunu ancak teorik düşüncelerden çıkarıyoruz.

Bereket ki, ilke olarak, deney yolu ile bunu doğrulamak olanaklıdır. Bunun için kuvvetli karşılıklı-etkilerin, bir protonyum atomunun, yani bir proton ile bir karşı-protondan oluşan bir atomun, enerji düzeylerini hangi biçimde etkilediğini yakalamak yetecektir. Deney, güç olmakla birlikte, gerçekleşmez değildir ve şu anda buna çalışılmaktadır.

Bir nükleonla bir karşı-nükleon arasında görünen bu itme etkisini geçici olarak kabul edersek, onların ayrılmalarının nereden geldiğini anlamak kolaylaşır. Gerçekten de sıcaklık, ışıma gittikçe daha çok nükleonları ve karşı-nükleonları kapsayacak şekilde yükselince, bunların birbirini itmeleri, bir yanda nükleonlar öte yanda karşı-nükleonlar olmak üzere, bunları yeniden toplanmaya doğru yöneltir. Uygulamada bu sonuç o kadar tam değildir ve ortamın birbirinden farklı bölgelerden oluşması, bu bölgelerden bir kısmında karşı-nükleonlardan fazla nükleon bulunması, geriye kalan bölgelerde ise bu iki türün ters oranlarda yeralması beklenir. Hesaplar gösteriyor ki bu ayrılma 4×10^{12} dereceden yüksek sıcaklıklarda meydana gelmelidir. Öte yandan, itme bir düşük enerji etkisi olduğundan ve rölativist parçacıklar bir çekme ile yer değiştirebileceğinden, sıcaklığın 10^{13} derecenin üstüne çıkması halinde artık ayrılmanın meydana gelmemesi gerekir.

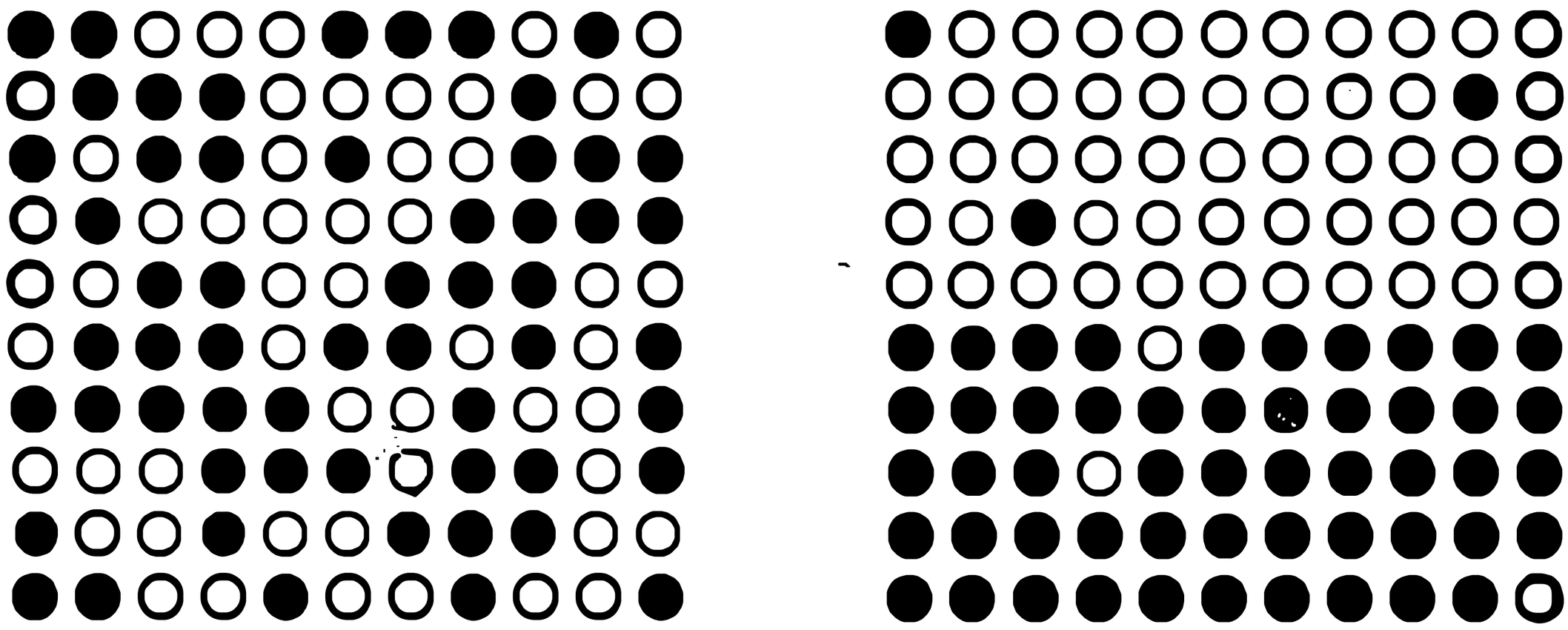
Nükleonlarla karşı-nükleonların ve böyle olunca, özellikle, protonlarla karşı-protonların ayrılmalarının, bu parçacıklardaki karşıt yükler yüzünden, elektrik yüklerinin bir ayrılması ile birarada ortaya çıktığını görmek ilginçtir. Çevrenin elektrik bakımından yansızlığını koruyan elektronlarla pozitronlardan, elektriklenme yolu ile gelen bir ayrılma sonucu bunun dengelendiği gösterilebilir.

Ayrılma olayını tam anlamış olmaktan uzak bulunduğumuzu söylemek bir doğruluk borcudur. Bunun birçok nedeni vardır: önce burada ele alınan özel yoğunluk koşullarında, parçacıkların özellikleri hakkındaki bilgimiz eksiktir; sonra

faz değişimleri sorunu fiziğin en güç sorunlarından biridir: örneğin, sıvıdan buhara geçişi sağlayan faz değişimini teorik olarak tümüyle kavradığımızı söyleyemediğimiz gibi, sıvıyı katıdan ayıran fazı kavradığımızı daha hiç söyleyemeyiz. Burada, yalınlaştırılmış birkaç hesaba dayanarak, suyun donabileceğini ileri sürebilen, yakıcı bir çöldeki bir insanın durumundan farksızız. Deneyle elde edilen sonuçlar bulunmadığından, bu kişi, fazla kesin olmaya cesaret edemeyecektir.

[ŞEKİL — 29]

NÜKLEONLARLA KARŞI-NÜKLEONLARIN AYRILMASI



a b

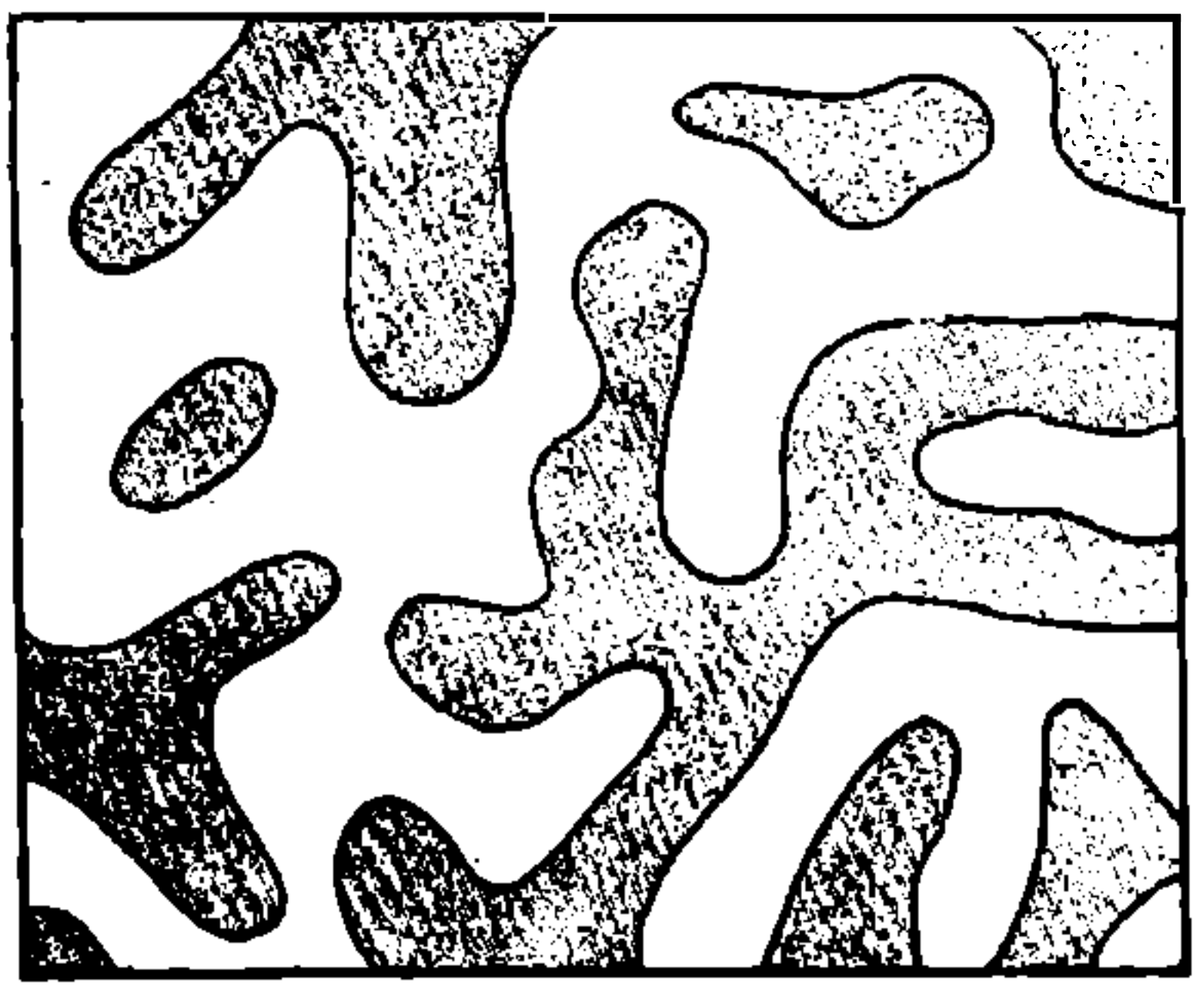
Bu ayrılma, çok yüksek sıcaklıkta evrenin bazı bölgelerinde meydana gelebilecek şekilde, çok şematik olarak gösterilmiştir:
a) ayrılmamış durum; *b*) ayrılmış durum. Fizik bakımdan, bu durumlar suyun buhar ve sıvı fazlarına, ya da demirin, ters yönde mıknatıslanmış fazlarına benzer.

Belki de başka kuvvetli karşılıklı-etkilerin sonuçlarından benzer yargılamalara ulaşmak olanaklıdır ve gelecekte bu sonuçların pekâlâ düzeltilmeleri ve derinleştirilmeleri beklenebilir. Bununla birlikte, nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılması konusu oldukça doğruya yakın görünüyor, böylece bunun evrenbilimdeki sonuçlarını ele alabiliriz.

Madde ile karşı maddenin kendiliğinden ayrılması gibi bir olgunun varlığı bir an için kabul edilirse, Evrenin daha sade ve dolayısıyla, belki de Gamow'unkinden daha çekici bir modelini gözönüne alma yoluna girilmiş olur. Başlangıçta, ısı ışıması biçiminde, enerjiden başka hiç bir şeyi kapsamayacak olan bir Evren sözkonusudur. Faz değişimi etkisi ile bu ışıma, kendiliğinden, ayrı nükleon ve karşı-nükleon kümelerini meydana getirmiş olacaktır. Ayrılma süreci, teorik olarak, ilk saniyenin milyonda-birinde başlayarak saniyenin yüzbinde-birinde tamamlanacaktır. Bu anda hesap, kümelerin 10^{28} nükleon ya da karşı-nükleon kapsayacaklarını ve boyutunun milimetrenin binde-biri olacağını gösteriyor.

[ŞEKİL — 30]

MADDE VE KARŞI-MADDE KARIŞIMI



Madde ile karşı-maddenin bu karmaşık birikimi, üç boyutlu uzayda kabataslak bir labirent biçimi gösterecektir. Burada birbirine girmiş, üstüste ve bitişik, madde ve karşımadde koridorları vardır, bu dağılıma, karışım adı verilmektedir. İyice çalkalanmış bir yağ ve sirke karışımını düşünerek bunu gözönüne getirebiliriz.

Burada Gamow modeline göre gerçekleştirilen esas ilerleme, maddenin daha başlangıçta nispeten çok küçük miktarda bulunduğunu varsaymamaktır. Tam tersine, madde ile karşı-madde ısı ışımasından başlayarak, yani aslında enerjiden başlayarak, kendiliğinden yaratılmıştır.

Tıpkı Gamow'da olduğu gibi, Evrenin içeriği sıcaklık dengesinde bulunur, sıcaklık, sıfır zamanında teorik olarak sonsuz bir değerden başlayarak zamanla azalır. Öte yandan

elemanter parçacıklar fiziğinden çıkan sakınım yasaları, Evrende her zaman madde kadar karşı-madde bulunduğunu söylemeye bizi zorlar. Gerçekte, burada Evrenin düşünülebilen en sade modeli sözkonusudur; bu, zorunlu olarak sıcaktır, ama sıcaklığının gerektirdiğinden başka hiç bir şeyi kapsamamaktadır.

Şimdi, bu kadar kısıtlı başlangıç önerilerinin şu anda gördüğümüz karmaşıklığa, yani galaksiler halinde yoğunlaşmış maddeye (ve bu teoride karşı-maddeye) nasıl ulaşabileceklerini araştırmamız gerekiyor.

BİRLEŞMENİN SONUCU

Şimdi karşı-madde teorilerinin ikinci temel sonucuna, birleşme sonucuna geliyoruz. Ortak bir sınır boyunca, madde ile karşı-maddenin karşılıklı yokolmaları, gittikçe geniş bölgelerde bunları, yeniden toplanmaya götüren hareketleri doğurabilir mi? Bu, madde ile karşı-madde arasındaki bir yüzey gerilimi sonucu değil midir?

Biraz önce söylendiği gibi, ışımalı dönem süresince madde ile karşı-maddenin oluşturduğu sistem, bir karışım meydana getirmelidir. Bu, bütün uzayın aynı biçimde, nükleonlar ya da karşı-nükleonlarla dolu olması gerektiğinden ileri gelmektedir. Öyleyse sistemin bütün geometrik özellikleri maddeyi karşı-maddeden ayıran yüzeyde bulunuyor, bu yüzey ise karmaşık bir biçimde uzayda kıvrılıyor ve kendi üzerine katlanıyor. Aslında, iki bileşenin de aynı değerde olduğu böyle bir karışımda, yalnızca maddede kıvrılıp giden sonsuz uzunlukta yolların her zaman bulunduğu gösterilebilir. Başka bir deyişle, karışımın sonlu bir boyutu tanımlanabilmekle birlikte (örneğin yüzeyin ortalama eğrilik yarıçapı, ya da karşıdaki bir duvarın ortalama uzaklığı), yüzey, sonlu madde kütlelerini birbirinden ayırmıyor. Sonsuz yolların kenarında bulunuyor. (Evrenbilimde esaslı olan bu topolo-

ilk sonuçların ilk kez katılar fiziğinde sızma olaylarının incelenmesi, özellikle, suyun kayalar içersinde yolalması dolayısıyla ortaya konduğunu belirtmek eğlendirici olabilir.) Öyleyse bu yüzeyin madde ile karşı-maddenin eşzaman hareketleri sayesinde boyutunu büyütecek biçimde açılmasının olanaklı olabileceği pekâlâ düşünülebilir. Birleşme terimi ile anlaşılması gereken budur.

Birleşmenin etkisi, ayrılma sorunundan ölçüsüz derecede daha sade bir fizik sorununa karşılıktır. Bu, henüz eksik olan teorileri işe karıştırmaz ve böylece çok daha büyük bir güvenle çözümlenebilmiştir.

Bunu anlamak için, ayrılma yüzeyinin yakınında neler olduğunu düşünelim. Düzensiz ısı hareketi ile bir nükleon karşı-maddeye doğru sürüklendiği zaman, bir karşı-nükleona çarpmadan onun içine giremez. Genel olarak, o zaman, çiftin bir yokoluşu meydana gelir. Bu yokoluş, ortalama, altı tane olan π mezonlarını doğurur, bunların bazıları madde bölgesine, bazıları da karşı-madde bölgesine yönelirler. Yokolmadan gelen yüklü mezonlar (π^+, π^-) yerine göre çok çabuk μ^+, μ^- olarak parçalanırlar. μ^+'lar ile μ^-'ler parçalanma yolu ile elektronlar ve pozitronlar haline gelirler. π^0'ların kendileri de yüksek enerjili fotonlar vererek parçalanırlar. Öyleyse sonuçta madde-karşı madde sınırının yakınında, çok sayıda enerjetik parçacıklar, elektronlar, pozitronlar, fotonlar doğar. Şu halde, büyük enerjileri yüzünden, bu tür parçacıklar sınır çevresinde önemli bir basınç yapabilecek güçtedirler ve böylece, bu akışkan ortamda, güçlü hareketler yaratabilirler.

Bu hareketlerin etkisi birleşmeyi meydana getirir.

Mekanizma, ayrıntılarda oldukça karmaşık olmakla birlikte, ilke olarak basittir. Örneğin yokolmadan gelen enerjetik bir elektronu düşünelim. Bu bir sürü ısı fotonlarına hızla gidip çarpacak ve onlar ise çok daha büyük bir enerji kazanacaklar ve X ışınlarına dönüşeceklerdir. Bu X ışınları

ısı ışınları haline gelerek sıcaklık fotonlarının bir değişiminin ortaya çıkmasına neden olurlar ve böylece, yokolmadan gelen parçacıklarınkini dengeleyen bir basınç kuvveti doğururlar. Eğer sınır eğri ise, maddeye doğru olduğu kadar, karşımaddeye de giden aynı sayıda yüksek enerjili parçacıklar bulunacaktır. Bununla birlikte, belli bir uzaklığa giden X ışınları, sınırın dışbükey tarafında, içbükeyinkinden daha az büyük olan bir yüzeye çarpacaklardır. Öyleyse her yüzey birimine daha büyük bir kuvvet uygulayacaklar, yani dışbükey yanına daha büyük bir basınç yapacaklardır. Bunun toplu sonucu, sınır yüzeyinde bir basınç süreksizliğidir. Bu süreksizlik, eğriliğe bağlıdır, ve şekli, Laplace yasasının öngördüğü şekle benzer. Bu şekil, yüzeyin küçültülmesine çalışan bir yüzey geriliminin sonucudur. Şimdi ele aldığımız bir karışım durumunda, yüzeyin azalması ve karışımın boyutlarının artması birbirinin aynı görüngülerdir.

MADDENİN DOĞUŞU

Ayrılma görüngüsünü kabul ettikten ve birleşme görüngüsünü öğrendikten sonra, başlangıçta yalnızca çok yüksek sıcaklıkta bir ısı ışıması biçiminde, saf enerji kapsayacak olan bir Evren modelinin gelişmesini şimdi yeniden kurabiliriz. Buna *simetrik model* diyeceğiz (parçacıklarla karşı-parçacıklar arasındaki simetri anlamında).

Gamow modelinde olduğu gibi bu modelde de Evrenin ilk anları gizemli olarak kalıyor ve şimdi çözümle kavranacak gibi görünmüyor. Böylece uzay-zamanın ilk 10^{-34} saniyede (!) nicelendirilmesi esaslı bir rol oynamalıdır. Sonra 10^{-22} saniyelik sürede tam anlamıyla ısı ışıması yoktur, çünkü bunun olabilmesi için bu mertebede bir zamana gerek vardır. Doğrusu istenirse bu düşünceler son derecede soyuttur.

Gerçekte sıcaklık, ancak 10^{13} derecenin altına indiği zaman neden sözedildiğini anlamaya başlarız. Ancak o zaman

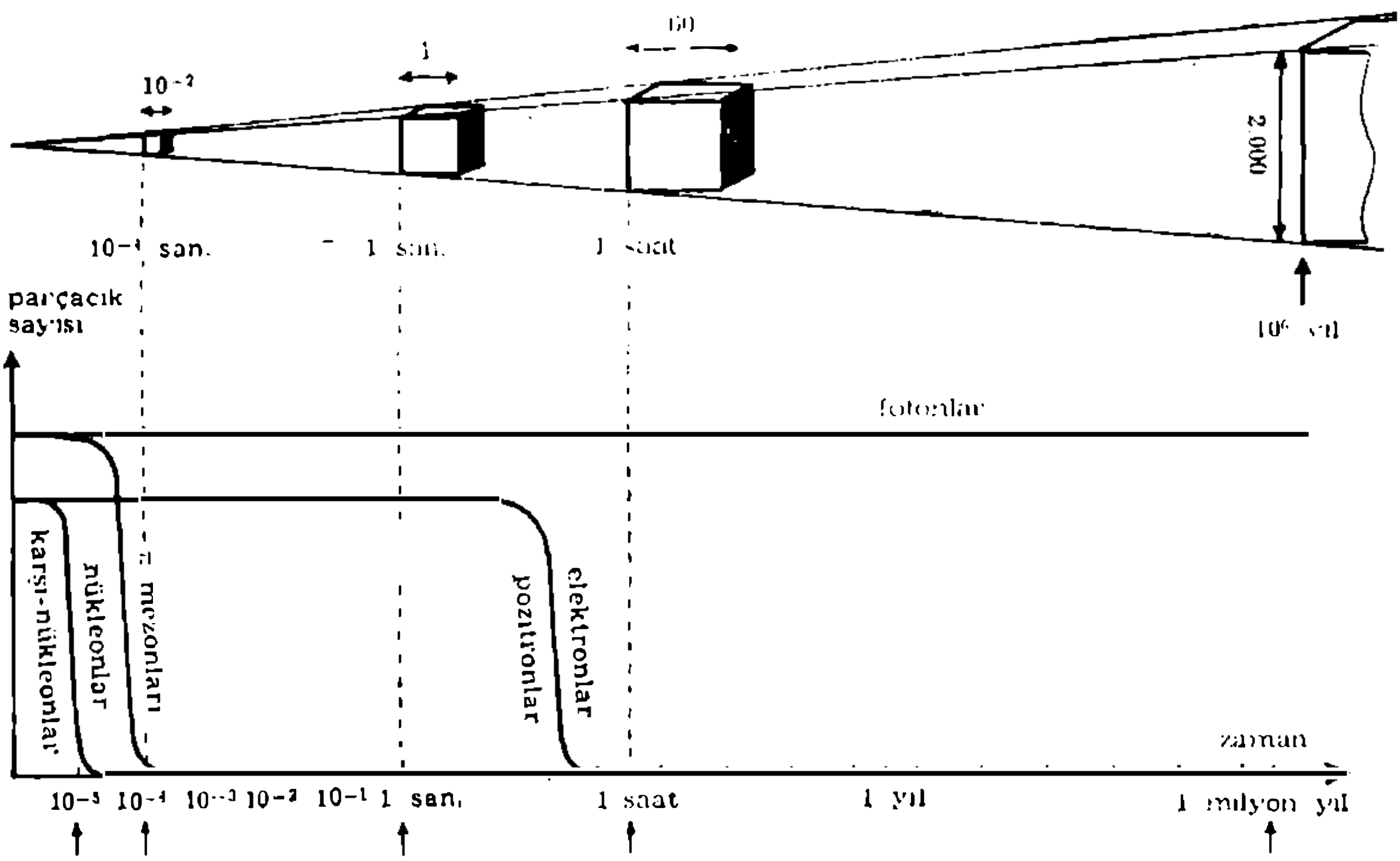
Evrende bulunan koşullar, bir bölümü laboratuvarda gerçekleştirilebilen durumları anımsatır hale gelirler. Bu, 10^{-6} saniye sonunda ortaya çıkar.

Sözarasında şunu da kaydedelim ki, daha sonra bütün söylenecekler, o dönemde Evrenin homojen ve izotrop olmasını zorunlu olarak gerektirmez. Bütün bölümlerinin geçmişte bir kez 10^{13} dereceden yüksek ya da ona eşit sıcaklıklarda bulunmuş olması yetecektir.

10^{13} derecede, nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılması başlamış olacaktır ve bu, en düşük sıcaklık değerinin ortaya çıkabileceği 4×10^{12} dereceye kadar, 10^{-5} saniye sürecektir. Parçacıkların ışık hızı mertebesindeki hızlarla hareket ederek durmadan çarpıştıkları magma maddenin bu do-

[ŞEKİL — 31]

EVRENİN GELİŞMESİ



Yukarda, küpler, kozmik zaman ve Evrenin sıcaklığına bağlı olarak genişleme oranını gösteriyor. Verilen boyutlar ölçünün açıkça dışındadır. Alttaki grafik, genişleme halinde uzayın bir bölümünün elemanter parçacıklarının, çeşitli türlerinin yoğunluğunu veriyor (küpler).

ğuşu pek gözalıcı değildir. Önce şurada ve burada nükleon ve karşı-nükleon fazlalıklarının yer aldığı küçük bölgeler ortaya çıkar. Bunlar biraz da su damlalarının buharda büyümeleri gibi büyürler ve çok geçmeden bütün uzayı kaplarlar. Bu ayrılma döneminin sonunda ortaya çıkan karışım, 10^{-4} santimetrelik örnek bir boyuta ulaşır. Kenarı 10^{-4} santimetre olan bir bölgede, nükleonların, karşı-nükleonlara göre fazlalığı 10^{28} parçacıktır, bu oldukça önemlidir ama bir galaksinin özelliklerinden henüz son derece uzaktır.

İlk yüzbinde-birinci saniyeden sonra, sıcaklık artık nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılmalarını sürdürmeye elverişli olmayacak kadar düşüktür. Gerçekte süreç tersine dönmektedir: ısı ışıması 4×10^{12} derecenin üzerinde nükleonlarla karşı-nükleonlara ayrılmaya doğru gittiği halde, bu sıcaklığın altında yoğunlaşmalar birbiri içinde erimeye doğru giderler. Bunda şaşılacak hiç bir şey yoktur: tıpkı normal basınçta ve 100 derecenin üzerinde, suyun buhar, ve altında sıvı halinde görünmesi gibi, sıcaklık 4×10^{12} derecenin üzerinde ya da altında olduğuna göre ışı ışıması, nükleonlar ve karşı-nükleonlara ayrılır ya da ayrılmaz.

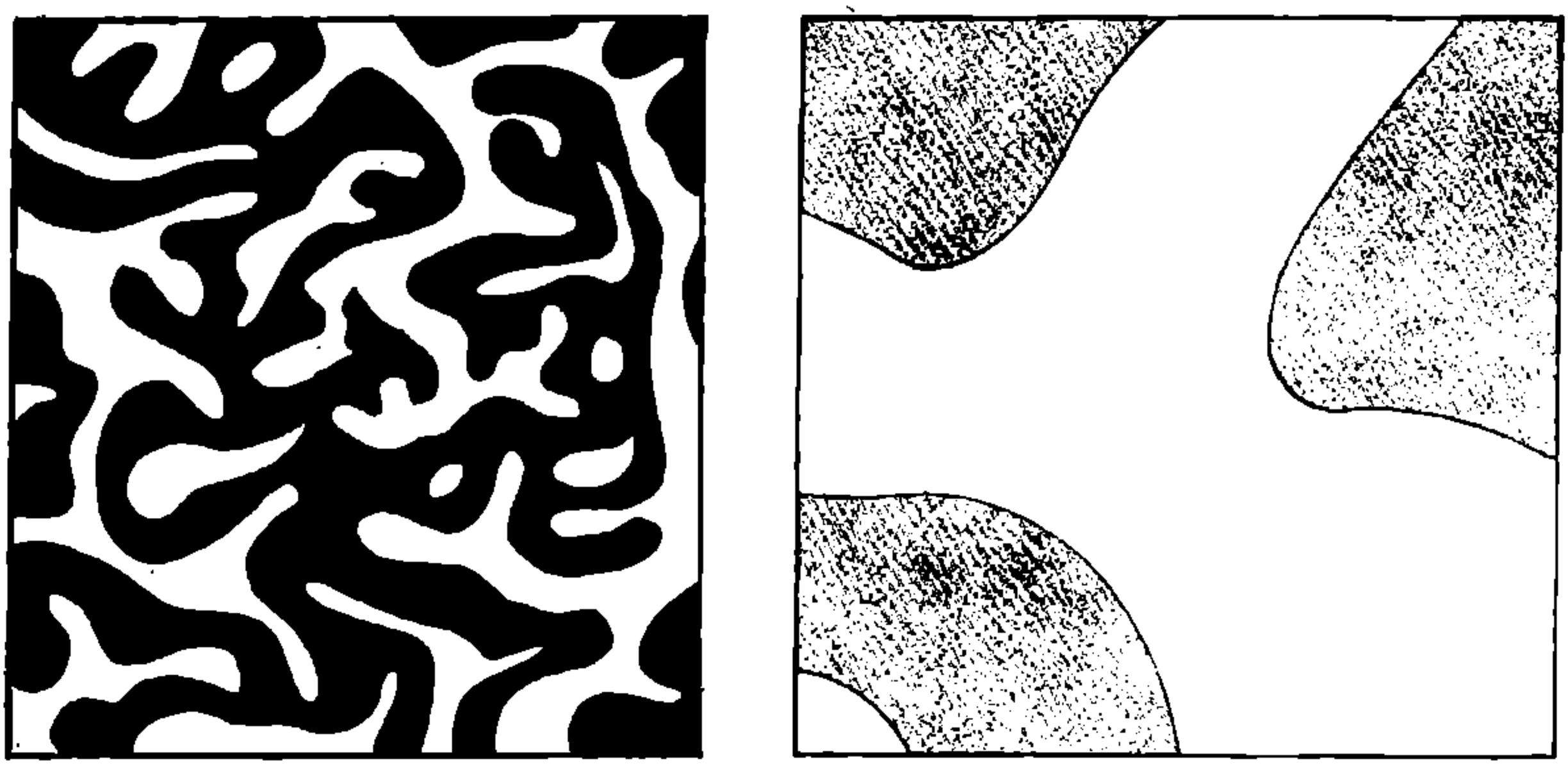
Yavaş yavaş yoğunlaşan nükleon ve karşı-nükleonlar birbirine karışırlar. Bu sırada birbirlerini yokederler ve başlangıçta ayrılmış olan nükleonlardan önemli bir parçası bu sınama döneminde kaybolur; işte bu yüzden buna *yokolma dönemi* denir.

Bununla birlikte, bütün nükleonlarla karşı-nükleonlar hemen kaybolmazlar. Gerçekten, raslantı yasalarına göre, nükleonlarla karşı-nükleonların karıştıkları bir bölgede nükleon yoğunlaşmaları ile karşı-nükleon yoğunlaşmalarının sayısı, tıpatıp eşit olamaz.

Başlangıçta, dağılışlardaki kaçınılmaz dalgalanmalar belli bir heterojenliği korumak eğilimindedirler ve bundan, her zaman, karışım halindeki nükleonlarla karşı-nükleonların gittikçe daha geniş bölgelerde, yoğunlukları gittikçe daha dü-

[ŞEKİL — 32]

YOKOLMA DÖNEMİ



Karışımın boyutları, yayılma yolu ile büyür. Aynı zamanda nükleonlarla karşı-nükleonların sayısı önemli ölçüde azalır.

şük olan bir dağılışı ortaya çıkar: Labirent büyür ve tenhalaşır.

Bununla eşzamanlı olarak, ışımadaki parçacıkların büyük bir bölümü şöyle kaybolur: Önce ayrılmamış nükleonlarla karşı-nükleonlar yokolur; bunların üzerine biriken ayrılmış parçacık fazlalıklarının ise kaybolmaya yüztuttuğunu biraz önce görmüştük, ensonu, 10^{11} derecede ve 10^{-2} saniye sonunda, son kalan π mezonları da ortadan kalkar.

Bu sırada, π mezonlarının büsbütün kayboldukları ana kadar süren bu düzensiz yokoluş, nükleonların büyük bir bölümünü tüketir. Bundan, nükleonların ve yokolma ürünlerinin davranışında, burada ayrıntıları ile çözümlenmesi çok uzun sürecek olan, derin bir değişim doğar. Burada birleşmenin ortaya çıktığını ve üstün görüngü haline geldiğini söylemekle yetinelim. Bundan, yokolma oranının çok azaldığı sonucu çıkar. Gerçekten bu oran, başka büyüklükler arasında birleşme ile birlikte hızlı bir biçimde küçülen madde ve karşımadde sınırının yüzeyi ile orantılıdır. Uygulamada birleş-

menin ortaya çıkmasından sonra ancak öncekine göre pek az yokolma görülür. Bu andan başlayarak Evrende bulunan madde ile karşı-madde miktarı belirlenmiştir. Bilinmeyen her parametreden bağımsız olan bu miktarın hesabıyla elde edilen sonuç, bu kadar karmaşık hesaplarda mutlaka bulunan yanılgılar bir yana bırakılırsa, gözlenene uymaktadır.

Birleşme, bütün ışımalı dönem boyunca sürer. Tıpkı Gamow modelinde olduğu gibi, protonlarla elektronlar, atomlar halinde birleştikleri zaman, bu devre 10^6 yıl sonunda, 3.000 derece sıcaklıkta sona erer. Madde ile ışımanın karşılıklı-etkilerine içten bağlı olan birleşme, bu dönemle son bulur.

Bu anda hesap sonucu görülen şudur: böylece ayrılan kütleler, yani boyutları karışımın boyutları kadar olan bir hacimdeki kütleler, bir galaksi kütlesi mertebesine erişmiştir. Karışımın boyutu da onbin ışık yılına yakındır.

Bunlar, bu modelin başlıca üstünlükleridir: bu model, Evrende maddenin bulunuşunu, miktar bakımından açıkladığı gibi, elverişli özellikleri olan galaksiler-öncesi oluşumunu da açıklar.

Buradan başlayarak, madde ile karşı-maddenin sınırlarında, kendini göstermeyi sürdüren yokolma basıncının, galaksi dizilerinin oluşmasını hızlandıracağı düşünülebilir. İlerde yeniden ele alacağımız bu yoğunlaşma sürecinin yapısı nedeniyle, galaksiler karşı-galaksilerden çok, galaksilere yakın kalma eğiliminde olacaklardır. Bundan, onların uzaysal yoğunluklarında dalgalanmaların olması sonucu doğabilecektir ki, bu da galaksi kümelerinin oluşmasına yolaçacaktır. Gerçekte simetrik bir Evrenin gelişmesinin bu en son bölümü, şu anda henüz ayrıntılarıyla çözümlenmiş değildir, ve aynı bir kümede hem galaksilerin, hem karşı-galaksilerin bulunduğunu ya da bulunmadığını söylemek için zaman henüz erkendir.

Sayfa 124'te simetrik bir Evren modelinin gelişmesinin özetini gösteren bir tablo verilmiştir.

MADDE İLE KARŞI-MADDEDEN OLUŞAN BİR EVREN TARİHİN ÖZETİ

Zaman	Sıcaklık (derece olarak)	Isı Işıması	Madde	Dikkate Değer Görüngüler	Dönem
0	Sonsuz?	Bu, parçacıklar-öncesi bir hamurdur.			
10^{-6} sn.	10^{13}	Burada parçacıklar görülüyor. Uygulamada burada bütün parçacıklar yer alır.	Nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılması. Elektronlar elektrik tarafsızlığı sağlarlar.	Nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılmalarının başlangıcı.	Ayrılma dönemi.
10^{-5} sn	4×10^{12}		Yoğunlaşmaların boyu: 10^{-4} cm. Yoğunluğun, yokolma yolu ile önemli ölçüde azalması.	Nükleonlarla karşı-nükleonların ayrılması, yerini, yoğunlaşmalarla bunların yokoluşundan meydana gelen ters görüngüye bırakıyor.	Yokolma döneminin başlangıcı.
10^{-4} sn	10^{12}	π mezonları kaybolmaya başlıyorlar. Bunlar ışımada bulunan kuvvetli etkileşmeli son parçacıklardır.			Kuvvetli etkileşmeli parçacıkların ısı ışımasına egemen oldukları hadronik dönemin sonu ve leptonik dönemin başlangıcı.
10^{-2} sn	10^{11}		Yokolma basıncının etkisi altında birleşmenin başlangıcı.		Yokolma döneminin sonu. Birleşme döneminin başlangıcı.
1 sn	10^{10}	Işımada bulunan elektronlarla pozitronlar kaybolmaya başlıyorlar.	Nötronların sonu.		Leptonik dönemin sonu ve ışımalı dönemin başlangıcı.
10^{6} yıl	3.000	Isı fotonları madde ile etkileşmelerini durdururlar ve soğurlar.	Yoğunlaşmalar 10^{22} cm.'-lik bir boya ve 10^{44} gr.'-lık bir kütleye ulaşırlar.	Yoğunlaşmaların boyca büyümeleri. Elektronlarla protonlar, (pozitronlarla karşı-protonlar) atomlar halinde birleşirler.	Işımalı dönemin sonu. Yıldız döneminin başlangıcı.

Bu aşamada temel bir sorun karşımıza çıkıyor: karşı-maddenin varlığı gerçekten yakalanabilir mi?

Bize en yakın olanlar arasında bulunsa bile bir galaksiyi gözlemekle, görünüşüne dayanarak onun maddeden mi, yoksa karşı-maddeden mi yapıldığını belirtmek olanaksızdır, çünkü ışık ışıması görüngüleri her iki halde de birbirinin tastamam aynıdır.

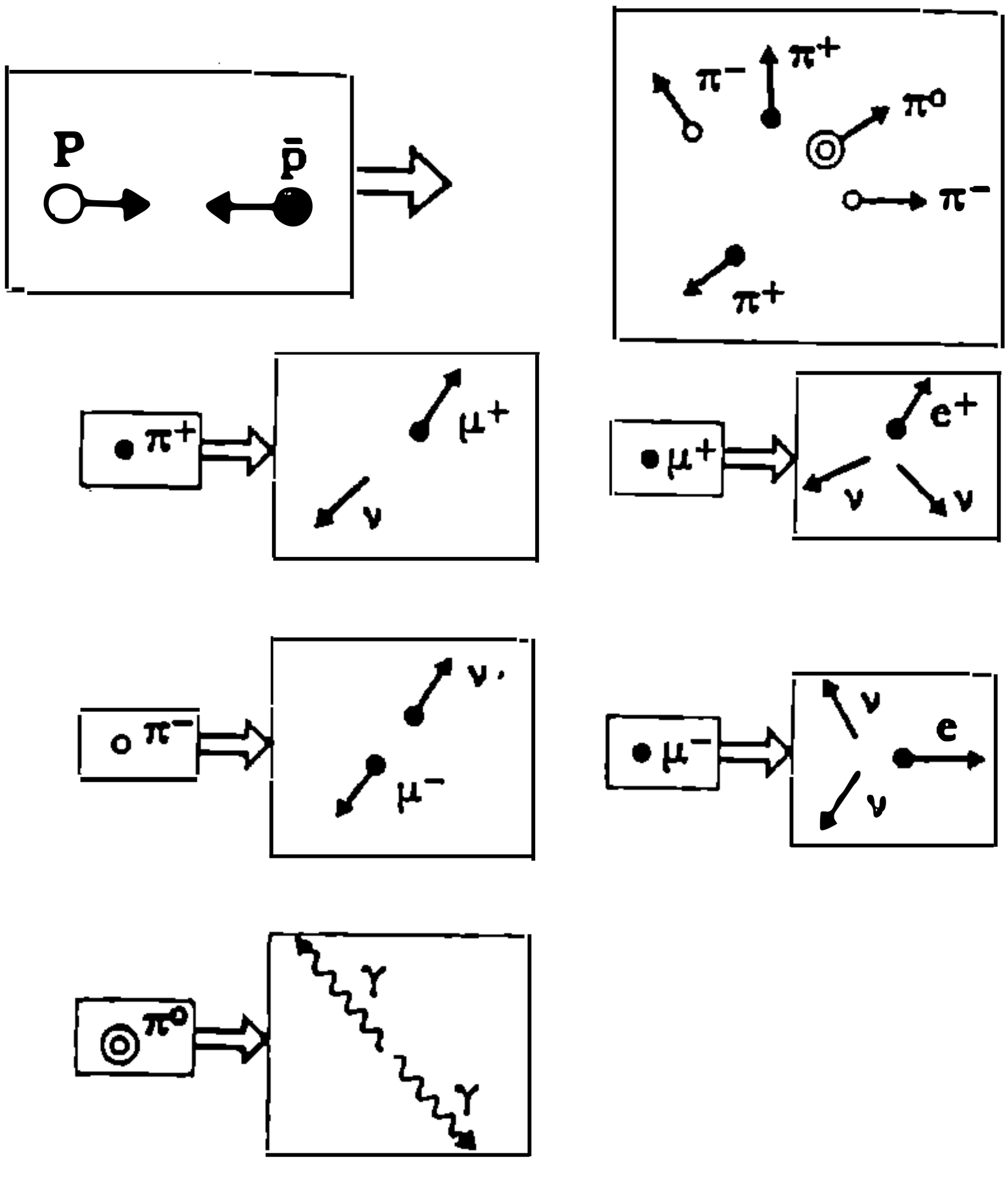
Bir füzeye foton sayıcıları yerleştirerek yapılmış olan yüksek enerjili fotonları yakalama oranlarına dayanarak, bazı yazarlar madde ile karşı-maddenin aynı zamanda varoluşlarının olanaksız olduğunu söyleyebileceklerini sanmışlardır. Hesapları bir teorik yokolma oranına dayanıyordu ve bu yokolma, bir galaksiler arası madde bulutunun bir galaksiye ya da buna benzer bir karşı-madde bulutuna yaklaştığı zaman meydana gelmeli idi. Gerçekte bu hesapların değeri abartılmıştır. Ama yine de çok yüksek enerjili fotonların gözlenmesi, karşı-maddenin önemli bir işareti olarak kalıyor.

Birbirine değen madde ile karşı-maddenin çok dikkate değer bir özelliğine Evry Schatzmann işaret etmişti. O, şu noktaya dikkati çekti: yüklü parçacıkların ve yokolmadan çıkan fotonların rüzgârı çok seyreltik bir gazda manyetik alanların oluşması sonucunu doğurmalı idi; bunun etkisi de, birinci milyon yılından sonra bile madde ile karşı-maddeyi itmek olacaktı. Stecker ile Puget'ye borçlu olduğumuz daha ileri götürülmüş hesaplar, böylece toplanan kitlelerin, bir galaksiler kümesinin kitleleri olacağı fikrini bize veriyordu; onlara göre o sırada birleşme ile yaratılan gürültülü hareketler, galaksilerin oluşumunu doğuruyordu.

Şu anda henüz bir sonuca varmak olanaklı değildir ve bu konuda tartışmaların sayısı pek çoktur. Bununla birlikte karşı-maddenin varlığı sorunu çok gerçekçi bir sorundur ve yapma uydularla yapılacak yüksek enerjili foton ölçülerinin

[ŞEKİL — 33]

YOKOLMA



Bir proton ile bir karşı-proton iki π^+, iki π^- ve bir π^o mezonu vererek birbirini yokederler. Yukardaki grafikler bu parçacıkların dağılma sürecini gösteriyor.

sıklaştırılması sayesinde, gelecek birkaç yıl içinde mutlaka çözümlenecektir.

DURUMUN ÖZETİ

Evrenin başlangıç teorilerini ele aldık. Bu, bizim için, en uzak ve en çok gizli kalmış olan şeydir ve elbette bilimsel bakımdan büyük bir ihtiyatla ele alınmalıdır. Bu aşamada, bunların bilimsel değerini belirtmeye çalışarak, ana noktalardan herbirini birer temel önerme olarak yeniden ele alabiliriz.

1. *Evren şimdi genişleme halindedir.*
2. *Evrenin genişlemesi genel rölativite teorisi ile uygun-*

luk halindedir.

Uzay-zaman geometrisini ele alan genel rölativite çok parlak bir teoridir. Büyük bir kesinlikle deneysel olarak doğrulanmış olan iki teoriyi uyumlu bir biçimde toplamaktadır; bunlar da (tartışmasız olarak, elektromanyetizma ve elemanter parçacıkların hareketleri için geçerli olan) özel rölativite teorisi ile hemen hemen kusursuz olduğu bilinen Newton'un gravitasyon teorisidir. Bu iki teoriden herbiri büyük ölçüde kesin olmakla birlikte, genel rölativite teorisinin çok az deneysel doğrulanma olanağı vardır (bunların toplamı üç tanedir ve hepsi de ölçme olanaklarının sınırlarındadır). Böylece tam bir kesinlikle, uygulama alanında en az sağlam olan bir teori, en aşırı konuda, uzay-zamanın bütününde kullanılmaktadır.

3. *Evren izotroptur* (*yani bütün doğrultularda aynı olarak görünür*).

Geldiği doğrultuya göre radyoelektrik ışımanın gösterdiği değişimler, on dakikalık yay üzerinde yüzde 0,1'in altındadır.

4. *İzotrop bir içeriğe karşılık olan matematik Evren modellerinin, zaman içersinde bir başlangıcı vardır.*

Hastalıklı görünüşüne karşın, modelin sonuçlarını bu kadar ileriye götürmek tedbirsizlik olabilir (çünkü enerji yoğunluğu ile basınç gibi fiziksel büyüklükler sıfır zamanında sonsuz olacaklardır). Kaçamak yolları şunlardır:

1° Genel rölativite çok büyük bir ölçekte, uygulanır olmaktan çıkabilir;

2° Genel rölativite geçerlidir, ama bu aşırı koşullarda, belki de, izotrop matematik model artık geçerli değildir. Hawking teoremine göre ne olursa olsun "garip bir şeyin geçmiş olması" gerekir, ama olanaklar henüz çok çeşitlidir.

5. *Uzay bakımından Evren sonsuzdur.*

Maddenin ölçülen yoğunluğu 3×10^{-31} gr/cm^3 (Oort, 1958) ve yine genel rölativiteye göre uzayın Eukleides uzayı ya da

küresel olması için, bu yoğunluğun 2×10^{-29} gr/cm^3 değerine ulaşması gerekecektir. Bu kadar yüksek bir rakam pek olası değildir, ama bunu kesinlikle reddedemeyiz. Her ne olursa olsun, uzay ister sonlu, ister sonsuz olsun, bunun tamamına gözlemle ulaşmak olanak dışıdır.

6. *3°K derecesinde bir ısı ışımasının şimdi varoluşu, Evrenin eskiden sıcaklık dengesinde bulunduğunu ve orada galaksiler arası uzaklıkların bin kez daha küçük olduğunu gösteriyor.*

Bu önerme, gerçekte, kuvvetli temellere dayanmaktadır.

7. *Galaksimiz büyük ölçüde maddeden yapılmıştır.*

Bu önerme bugün kozmik ışınların bileşiminin incelenmesi ve maddenin yokolduğunu gösterebilecek olan gama ışınlarının çok az olan varlığı ile pek sağlam bir şekilde gerçeklenmiştir. Bununla birlikte, yalnızca gözlemlere güvenerek, galaksiye bir miktar karşı-maddenin sızma olasılığı bir yana bırakılamaz.

8. *Evrenin en sade modeli* (bu modelde uzay, izotroptur ve içinde eşit miktarda madde ve karşı-madde bulundurur) *maddenin başlangıcını nicelik bakımından açıklamaya ve onun galaktik sistem toplulukları halinde biraraya geldiğini göstermeye elverişli olacaktır.*

Sorunların karmaşıklığının, bugünkü çözüm araçlarımızı aştığı böyle bir incelemede, birkaç kuşkulu nokta vardır. Önceden karşı-maddenin varolup olmadığını deney yolu ile kararlaştırmak uygun görülebilir. İlke olarak bu, daha ileri götürülmüş ölçmelerle, özellikle madde ile karşı-maddenin bugünkü sınırında madde yokolmasının varlığını gösterecek olan, yüksek enerjili fotonların ölçülmesi ile yapılabilir.

Bununla birlikte tasarlanabilecek ve bildiğimiz fizik yasalarına uyabilecek en sade Evren modelinin, bugün için en sivrilmiş olguları göstermeye elverişli olması dikkate değer. Bu gelişme, kendi kendini doğrularsa, bizi büyük bir uyum içinde olan bir Evren görüntüsüne götürmüş olacaktır.

İKİNCİ BÖLÜM

EVRENİN DÖNÜŞÜMLERİ

Sonsuz güçlü yabancılar, kaçınılmaz yıldızlar,
Uzak zaman içinde, alçakgönüllülükle,
Ne olduğu bilinmez, saf ve doğaüstü bir şey parlatırsınız;
Sizler ki, ölümlülerde, gözyaşlarına kadar,
Bu üstün ışıkları, bu yenilmez silahları,
Sonsuzluğunuzun atılışlarına daldırırsınız.

Paul Valéry, *La jeune Parque*

Bu kitabın birinci bölümü asıl Evrenin başlangıcına ayrılmıştı ve bu nedenle, çoğu kez, gözlemin doğrudan doğruya verilerinden uzak kalıyordu. Bu ikinci bölüm, bu verilerin bir tartışmasına ve bunlar üzerindeki yorumlara ayrılmıştır. Böylece galaksilerin başlangıcının, özellikle karşı-maddenin bulunmadığı varsayımında, karşımıza çıkardığı sorunlar yeniden ele alınacaktır. Bundan sonra, bir yıldızın nasıl doğduğunu, yaşadığını ve öldüğünü anlatmaya girişmeden önce, tekrar kuasarlara döneceğiz. Son olarak güneş sisteminin oluşması ve yaşamın başlangıcı sorununun nasıl ortaya konduğuna kısaca değineceğiz.

GALAKSİLERİN DOĞUŞU

Birinci bölümün sonunda, özel olarak madde ile karşı-maddenin bulunduğu bir Evren sözkonusu olduğunda, galaksilerin nasıl ortaya çıkabileceklerini gösterdik. Şimdi daha genel bir çerçeve içinde henüz çözümlenmemiş sayılması gereken bu güç sorunla ilgili güncel bazı fikirleri gözden geçireceğiz.

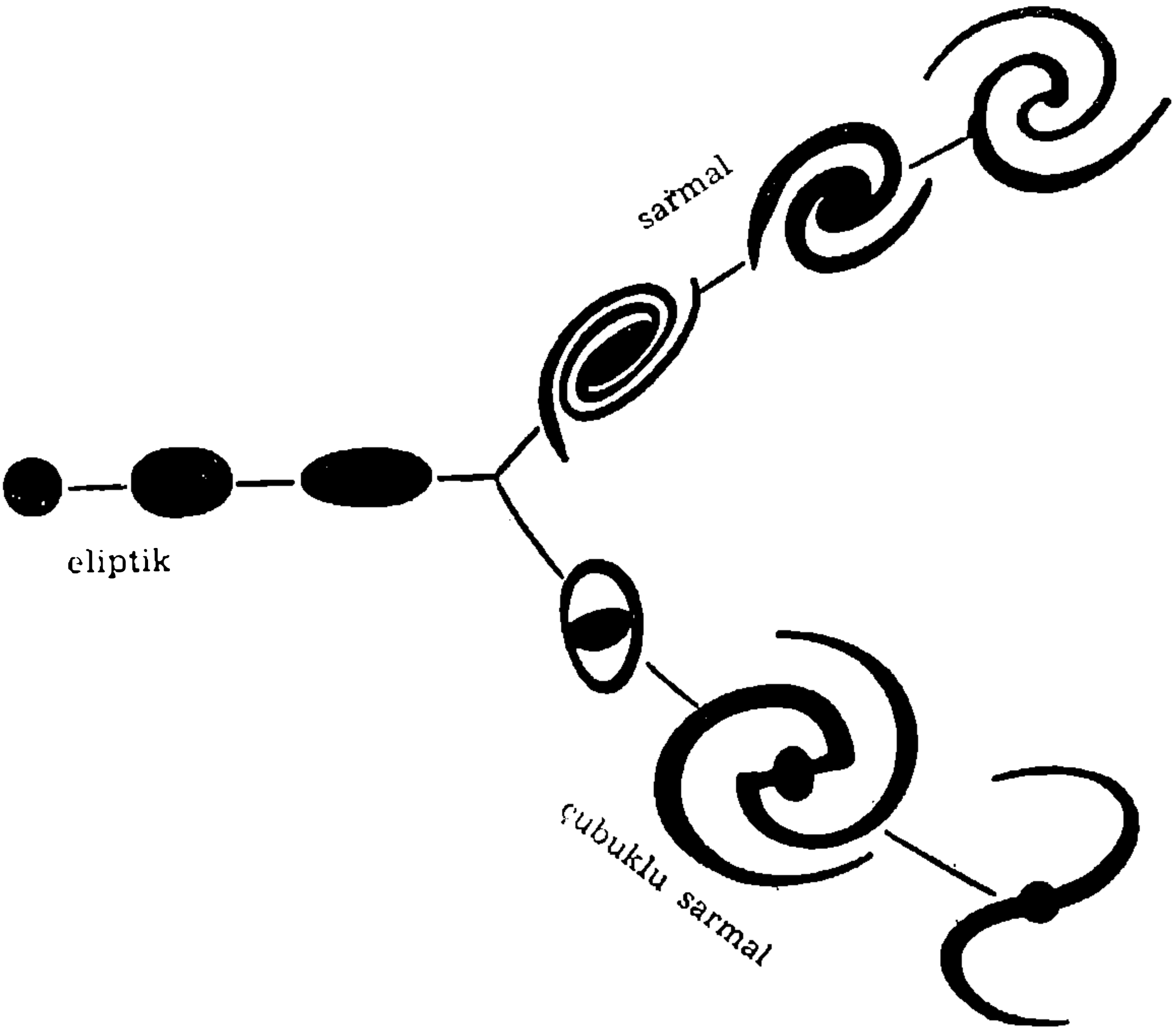
Gözlemin verileri ve her şeyden önce şekilleri bakımından, çeşitli biçimler arasında galaksiler, elipsoid ya da sarmal kollu, uzamış, yassı diskler biçiminde olduklarına göre, birbirinden iyice farklı iki türe ayrılabilir. Bu sınıflardan herbirinde ayırdedici özellikler az ya da çok belirgindir: elipsoide benzer şekildeki galaksiler, pratik olarak, küresel bir şekilden çok yassılaşmış bir elipsoid biçimine kadar gidebilirler. Ve bu sonuncular, kolları küçük olan sarmal bir galaksiden ayırdedilemezler. Bunun gibi sarmàllar arasında, kolları az ya da çok uzamış ve ayrı ya da, enlemesine çubuklar bulunduğuna göre birtakım ayırımlar yapılabilir. Bu iki büyük türe, *düzensiz galaksiler* denilen bir sürü cisimleri de katmak uygun olur; bunların bulut, kırbaç, halka gibi çok çeşitlenmiş biçimleri hiç bir sınıflamaya girmez. Magellan bulutları ya da Andromeda bulutsusu gibi bize en yakın galaktik cisimler içinde birtakım yıldızlar ve hidrojen bulutları ayırdedilebilir ki, bunlar, bu galaksilerin bizimkine benzer olduğunu doğrular. Daha uzak cisimlere gelince, onların ışığının spektroskobik çözümlenmesi bizi aynı sonuca götürür. 18. yüzyılda Herschell ile Kant'ın yaptıkları gibi, bunları evren-adalar olarak göstermekle (onlar için bu deyim henüz bir varsayımdan ibaretti), bu ayrı alemlerin olağanüstü yalnızlığı iyice canlandırılmış olmaktadır.

Eliptik ve sarmal galaksiler arasındaki ayrım yalnızca bir biçim ayrımı değildir, aynı zamanda büyük yapısal ayrılıkları da kapsamaktadır. Eliptik galaksiler içersinde, çoğun-

lukla kırmızı yıldızlar yer aldıkları halde, sarmal olanlar ise gazlar ve tozlar bakımından zengindirler ve içlerinde çok sa-

[ŞEKİL — 34]

ÇEŞİTLİ GALAKSİ TÜRLERİ



yıda üstün dev sınıfından mavi ve sarı yıldızları barındırırlar. Doppler etkisi yardımı ile, kollarda bulunan gazların hızını ölçerek, sarmal galaksilerin kendi eksenleri çevresinde, kolları açık oldukları ölçüde, daha hızlı döndükleri ve böylece kenarlarında saniyede birkaç yüz kilometre hıza ulaştıkları görülür. Öyleyse bunların biçimlerinin bizim havai fişeklerimizin "güneş"lerini ister istemez anımsatmaları yalnızca raslantı sonucu değildir. Tersine, eliptik galaksilerin ancak çok yavaş bir özel hareketleri vardır ve dönüşlerin-

deki bu ayrılığın bu iki tür galaksi arasındaki diğer farkların birçoğunun esasını oluşturduğunu düşünmeye bizi götürmektedir.

Galaksilerin milyon ışık-yılı mertebesindeki uzaklıklarla birbirlerinden ayrıldıkları biliniyor. Bu uzaklıkları ölçmeyi sağlayan temel düşünce son derece sadedir: bir ışık kaynağı gözlendiği zaman, ondan gelen aydınlatma şiddetinin uzaklığa, iyice belli bir biçimde, bağlı olduğu görülür. Öyle ki, örneğin aynı lamba iki misli uzaklaşırsa, bizi dört defa daha az aydınlatır. Öyleyse lambamdan aldığım ışığın şiddetini ölçersem, kendine özgü parlaklığını bilmek koşuluyla (100 ya da 200 wattlık bir ampulun sözkonusu olduğunu bilmeliyim) onun uzaklığını söyleyebilirim. Bunun gibi, özgül parlaklığı bilinen bir yıldız bir galaksi içinde görülebilirse, o galaksinin hangi uzaklıkta olduğunu söylemek olanaklı olacaktır. O halde (uzaklıkların trigonometrik ölçülerle elde edilebildiği) galaksimizde, ışıma şiddetinin kesinlikle bilinebildiği özel türde yıldızların varlığı görülmüştür. Bunlar arasında, *céphéïd*'ler, yani göz kırpan yıldızlar adı verilen gerçek yıldızlar bulunmaktadır. Değişmelerinin frekansı bilinir bilinmez, onların özgül parlaklıklarının tam olarak belirtileceği gösterilebilmiştir. Öyleyse yakın galaksilerdeki *céphéïd*'ler gözlendiği zaman, onların ışık yayma gücünü bilmek için göz kırpma dönemlerinin ölçülmesi yeterlidir. Onlardan aldığımız parlaklık şiddetini ölçerek, bundan uzaklıklarını çıkarabiliriz. Bu yöntem, ancak, oldukça yakın galaksilere uygulanabilir, ve bir uzaklıklar ölçeği meydana getirme olanağı sağlar. Daha ileriye gitmek için istatistik yöntemlere başvurmak gereklidir. Bugün, birbirleri ile yeter ölçüde çakışan bağımsız birçok ölçü tekniklerine sahibiz.

Açıkladığımız gibi, bu ölçülerin en göze çarpan sonucu, tayf çizgilerinin kırmızıya doğru kaymasının galaksilerin uzaklığı ile orantılı olmasıdır; bu da evrenin genişlediğini gösterir; çünkü bundan, galaksilerin geri kalma hızlarının

uzaklıkları ile orantılı olduğu sonucu çıkmaktadır.

Galaksilerin uzayda dağılışı homojen değildir ve bunların azçok önemli kümeler halinde toplandıkları görülmektedir. Bizim galaksimiz de yirmi kadar galaksiyi kapsayan bir "yerel küme" içinde bulunmaktadır. Magellan bulutları ile Andromeda bulutsusu bu küme içersindedir. Bin ya da daha fazla cisimleri kuşatan çok daha zengin kümeler vardır ve bunların boyu bir milyondan on milyon ışık-yılına kadar gidebilir. Bu kümelerden en yakını, kendisinden otuz milyon ışık-yılı uzaklığında bulunduğumuz *Vierge** kümesidir. Bazı gözlemciler, sayısı belki de yüz kadar olan bu tür kümelerin, boyu yüz milyon ışık yılına ulaşacak dev-kümeler halinde yeniden toplanabileceklerini düşünmektedirler.

Galaksilerin, daha büyük bir ölçekte dağılışı, birbiçim (*uniforme*) olarak görünür ve artık dağılış yalnızca raslantı yasalarına göre olur. Gözlenmiş olan en uzak kümeler bizden beş milyar ışık-yılı uzaklığındadır ve bunlar, ışık hızının üçte-birine varan bir hızla bizden uzaklaşırlar. Galaksilerden oluşan kümeler, işe karışan kütleler hakkında bir fikir elde etmeye olanak sağlar: gerçekten iki galaksi birlikte döndükleri zaman, tıpkı Güneşe bağlı gezegenler gibi, onlara da Kepler yasaları uygulanabilir. Bunları ayıran uzaklık bilindiğinden ve tayf çözümlenmesi bunların birbirlerine göre olan hızlarını bilmeye olanak verdiğinden, galaksilerin toplam kütlesini belirlemek olanaklıdır. Sarmal galaksilerin sözkonusu olduğu özel halde, kütlelerine ulaşmak için, onların dönüş hızları kullanılabilir, çünkü bir çembersel harekette merkezkaç kuvvet, kütleye bağlı olan bir çekim kuvveti ile dengelenmiştir. Bir galaksinin kütlesi için böylece bulunan değerler, tipik olarak, Güneşin kütlesinin yüz milyon katı mertebesindedir. Bunlar, bize yakın bazı cüce galaksiler için, yüz milyon Güneş kütlesinden, dev eliptik galak-

* Meryem, Bakire. —ç.

silerde bin milyona kadar gider.*

Galaksilerin nasıl oluştuklarını anlamak için böylece üç soruyu yanıtlamak gerekir:

Maddenin, göreli olarak, boyları iyice belirlenmiş cisimler halinde birleşmesini meydana getiren nedir? Kümeler nereden gelirler? Sarmalların dönüş hareketlerinin başlangıcı nedir?

Bu soruların yanıtı, madde yoğunluğunun, evrenin yaşına bağlı olarak bilindiği, genişleyen bir evrenin iyice belirlenmiş çerçevesi içersinde bulunmaktadır. Bu son koşul galaksilerin olası doğuş tarihi hakkında bir belirti veriyor; çünkü bunların, Evrenin ortalama yoğunluğunun, şimdiki galaksilerde gözlenene hemen hemen eşit olduğu bir zamanda meydana gelmiş olmaları beklenebilir. Ayrıca, bu tahminde, galaksilerin kestirilmesi olanaklı olan ama aslında pek de önemli olmayan gelişmeleri de hesaba katılmalıdır. Bu oluşum dönemi sıfır zamanından, aşağıyukarı beşyüz milyon yıl sonrasında yer almış olsa gerektir.

Işımalı dönem sırasında, yani maddenin ışıma ile denge halinde bulunduğu birinci milyon yıl boyunca, maddenin dağılışı pratik olarak, homojen olmalı idi. Çünkü düzgün olmayan bir dağılım için eğilimler bulunsa bile, ısı fotonlarının güçlü banyosu, bu eğilimleri hemen dağıtacaktı. İlkel maddenin atomlar halinde oluştuğu ve ısı ışımasının etkisinin ortadan kalktığı birleşme dönemi geçince, madde kendi başına kaldı. Başlangıçta homojen olan bir gazın, ilerde galaksiye dönüşecek olan ayrık bulutlara bölünebilmesi için, bir milyonuncu yıl ile beşyüz milyonuncu yıl arasında ne geçmiştir?

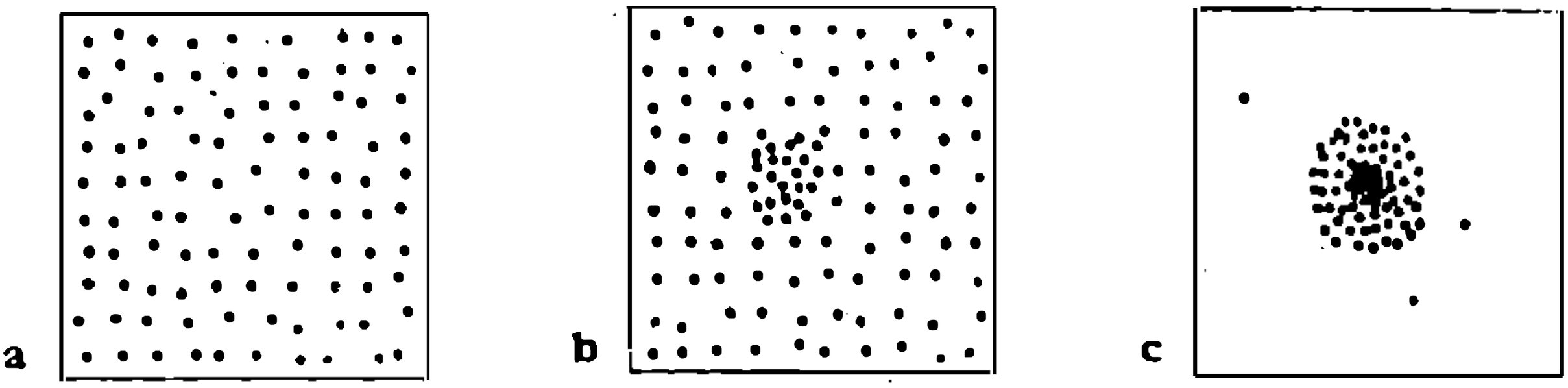
Daha Newton tarafından sezilen bu bölünüşün olası mekanizması, 19. yüzyılda İngiliz gökbilimci Jeans tarafından

* Bunun gibi, bu kütleleri, hem yıldızın galaksi içindeki hareketi yardımıyla hem de yıldızların parlaklığıyla kütleleri arasındaki bağıntıları hesaba katarak, toplam parlaklık yardımıyla bulmak olanaklıdır.

ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Bunu şöyle anlatabiliriz: tamamıyla homojen bir evrende bir atom açıkça hiç bir gravitasyon kuvveti altında değildir, çünkü, çevresindeki bütün madde onu eşit bir biçimde çeker, öyle ki, bütün bu etkiler birbirlerini yokederler. Böylece belli bir anda, homojen bir halde olan bir evrenin, sonra da böyle kalması gerektiği ilk bakışta bize doğru görünecektir. Bununla birlikte, böyle bir durumun dengesiz olduğunu anlayabiliriz. Gerçek-

[ŞEKİL — 35]

JEANS'E GÖRE EVRENİN DENGESİZLİĞİ



a) Atomlardan oluşmuş gibi gösterilen homojen bir çevrenin ölçek dışı görünüşü.
b) Hafif bir yoğunluk dalgalanması meydana gelmiştir.
c) Bu, çekimsel bir yoğunlaşmayı meydana getiriyor.

ten de, gazın hareketinden, burgulanmasından ya da dalgalanmasından gelebilen herhangi bir nedenle, uzayın belli bir kesiminde bir an için hafif bir madde fazlalığının toplandığını düşünelim. Daha yoğun olan bu kesimin yakınında bulunan madde artık her yandan eşit olarak çekilmez, belki de daha büyük bir döndürücü gravitasyonel çekimin etkisine uğrar; o zaman bu başlangıç heterojenliği gittikçe çevredeki gazı biraraya toplamaya başlar. Gerçekte, bu çekimi dengelemeye çalışan bir başka etken daha ortaya çıkar, çünkü daha büyük yoğunluk bölgesinde gaz basıncı daha fazladır, bu ise bir genişlemeye ve böylece yoğunluğun azalmasına yolaçar. Nicelik yönünden yapılan bir inceleme gösteriyor ki, ortadaki kütleler yeterince büyüdükleri zaman, gravitasyonel çekim üstün gelir ve bu durumda gaz, bulutlar halin-

de parçalanmaya başlar. Bu görüngüye gravitasyonel dengesizlik denir.

Şimdi teoricilerin karşısına çıkan sorun bu olguları nicelik bakımından açıklamaktır: İlk homojensizlikler nasıl doğmuşlardır ve bunlar galaksilerin kütlesini doğrudan doğruya hesaplamaya olanak sağlarlar mı? Evrende madde ile karşı-madde bulunduğuna ya da bir tek cins madde bulunduğuna göre bu sorun çok farklı bir hal alır.

Evrenin bir tek cins madde kapsadığı durumda, yani "*big bang*" kozmolojisinde, hesaplar özellikle çok ileri götürülmüşlerdir. Böylece genişlemenin, gravitasyonel dengesizliği kuvvetle sınırladığı görülmüştür, çünkü, yoğunluğu biraz fazla olan bir kesimi çevresinden uzaklaştırınca, karşılıklı çekim kuvveti azalır ve bu yüzden çevrenin yoğun bölgeye düşüşü yavaşlamış olur. Dengesizliğin galaksileri doğurabilmesi için, kuvvetle belirgin olan homojensizliklerin, daha ışımalı dönem sonunda ortaya çıkmış olmaları gereklidir.

Bu sonucun tam olarak anlamı nedir? Galaksi-öncesi özelliğindeki madde yoğunluğunda bir homojensizliğin nasıl doğmuş olabileceği ya da bunun ışımalı dönemde nasıl sürüp gidebileceği araştırılırsa, görülür ki, bu homojensizlik orada meydana gelememiştir, çünkü, bunun daha sıfır zamanında, gelecek galaksileri doğurmaya hazır bir kalıp gibi, ilk başlangıçta bulunmuş olması gerekirdi. Bir teorici için böyle bir sonuç hayalkırıcı görünebilir, çünkü eninde sonunda galaksilerin doğuşunu gerçekten açıklamamıza olanak vermez; bu açıklama başlangıç koşulları içinde, erişilemez sıfır zamanında gizlenmiştir.

Bununla birlikte galaksilerin görevlerinin ayrıntılarını olduğu kadar bu başlangıç homojensizliklerinin yapısını da aydınlatmayı deneyebiliriz. Bu konuda birçok varsayımlar ileri sürülmüştür.

Homojensizlikler, maddenin başlangıç yoğunluğundaki

sade değişmeler olabilir. Bu fikir şimdiye kadar pek verimli görülmemiştir. Özellikle bu, galaksilerin niçin kendi eksenleri çevresinde döndüklerini iyice açıklamıyor.

Homojensizlikler maddede, başlangıçta, madde ile karşı-madde birikimlerinin yerini alması gibi, yapısal bir farktan ileri gelmiş olabilecektir. Verdiği sonuçlar bakımından bu model, pratikte, ısı ışımasından başlayarak madde ile karşı-maddenin birbirlerinden ayrıldıkları modelden farklı değildir.

Homojensizlikler yalnızca madde gazının yoğunluğunda değil, aynı zamanda hızında da yeralmış olabilecektir. Bu değişme tipine uyan en sade varsayım, gazın hareketinin burgulu olduğunu kabul etmekten ibarettir. Bu yorum henüz tam bir gelişme içindedir ve kendisinden çok şeyler beklenebilir gibi görünüyor. Gerçekten de bir burgu hareketinin tamamlanması yalnızca, iki parametrenin bilinmesini, örneğin en büyük çevrinin boyutuyla en büyük hızın bilinmesini gerektirir. Rus araştırmacı Ozernoy'a inanırsak, bu, galaksilerin oluşumunu, kütlelerin istatistik dağılımı hatta dönüşlerini, nicelikli olarak açıklamaya yetecektir; bunun da başlıca örnekleri, normal galaksilerle eliptik galaksiler halinde bir dağılıştır. Bunun için en büyük çevrilerin bir galaksi kütlesini kapsaması ve burgu hareketinin en büyük hızının ise ışığın hızının onda-biri mertebesinde olması yetecektir. Bunlar, sorunu daha kuvvetle ortaya atmaktan başka bir şey yapmayan çok güzel sonuçlardır: öyleyse bu burgu hareketleri nereden geliyor?

Bu soruya bir karşılık bulunabilecektir. Bununla birlikte, bu, onu ancak ihtiyatla dile getirmemizi gerektirecek kadar yenidir: Maryland üniversitesinde çalışan bir grup araştırmacı, madde ile karşı-maddenin hüküm sürdüğü bir evrende meydana gelen birleşme hareketlerinin, yukarda anlatılanlara benzer özellikleri olan çevri hareketlerini meydana getirmiş olacaklarını ortaya koymuş gibidirler. Görüldüğü

gibi, galaksilerin oluşumu konusu tam bir gelişme halindedir ve bunun çok yakın yıllarda pek hızlı olarak ilerlemesi beklenebilir.

K U A S A R L A R

Şimdi kuasarların özelliklerinin nasıl ortaya konulduğunu ve bunlar hakkında hangi yorumların ileri sürüldüğünü göreceğiz.

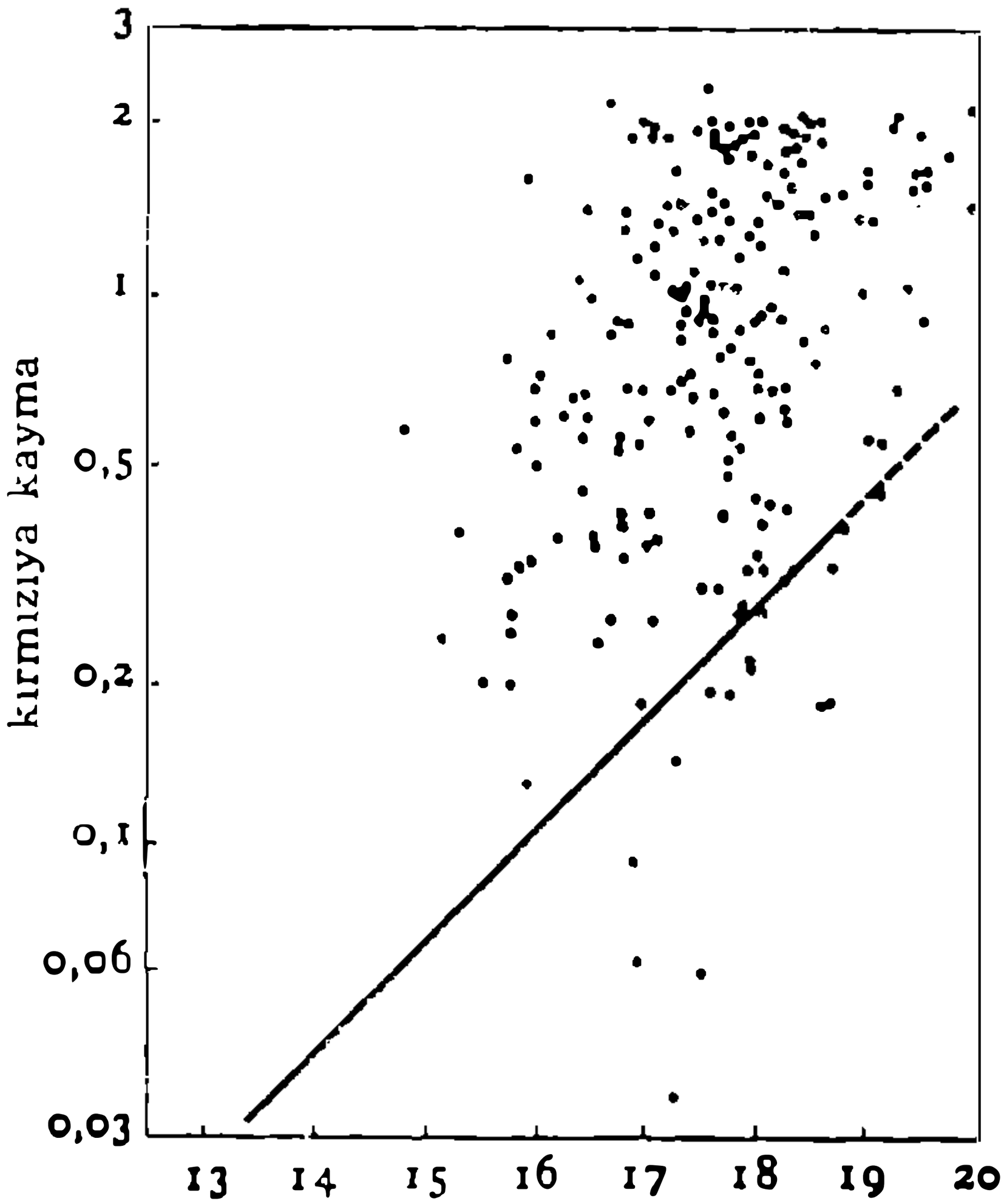
Kuasarlar, önce, radyo ışımasının kaynağı olarak bulunmuşlardır. Gökte çok sayıda bu tür ışıma kaynakları vardır. Güneş, doğal olarak bunların en güçlüsüdür. Bu kaynaklardan bazıları bizim Galaksimizde yer almışlardır, bazıları da galaksi dışındadır. Böylece bir tür galaksilerin, son derece güçlü radyo ışıması yayan kaynaklar oldukları görülmüş ve bu yüzden onlara radyo-galaksiler adı verilmiştir. Bir radyoteleskop yardımı ile onun gök koordinatları çok kesin olarak belirlenir ve bir optik teleskop kullanılarak ya da görünür normal ışıkta alınmış bir gök fotoğrafı üzerinde, aynı yerde bir cismin bulunup bulunmadığına bakılır.

Bu türlü araştırmaları sistemli olarak sürdüren Sandage 1960'ta, bazı radyo kaynaklarının, galaksiler yerine açıkça nokta görünüşündeki cisimlerle çakıştığını buldu. Şu halde, bunlar, genel olarak gök fotoğraflarında noktalar şeklinde görülen yıldızlardır, galaksiler ise burada azçok yaygın lekeler halinde görünürler. Şimdi, acaba yeni bir yıldız türü karşısında mı bulunuyorduk? Gerçekte, daha yeni ölçmeler, bu cisimlerin güçlü radyo kaynakları olduğunu ve normal ışıkta mavi yıldızlar gibi görünmekle birlikte, aslında ışımalarının büyük bir kısmını kızıl-ötesi alanında yaydıklarını göstermiştir. Şu anda bunlardan aşağıyukarı 200'ü gözlenmiştir, ama sayılarının çok daha büyük olduğu, olasılıkla bir milyon mertebesinde bulunduğu sanılıyor. Bu sayının doğru olduğu kabul edilirse, bu miktar, gözlenebilen galaksilerin yanında küçük kalır.

Bu kaynaklardan, görünen bir ışıma da alındığına göre, tayf çizgilerinin kaymasını ölçmek olanaklıdır. Gerçekten yayınlanan ışığın tayf çizgilerini inceleyerek bu kaymanın her zaman önemli ve genellikle çok büyük olduğu bulunmuştur: nitekim, bazı kuasarların kırmızıya doğru kaymaları, bilinen en büyük kaymaların da ötesindedir. Böyle bir saptama hemen önemli sonuçlar doğurur, çünkü, bildiğimize göre, tayf kaymalarını meydana getiren ancak iki mekanizma vardır. Birincisi, kaynağın, evrenin genişlemesine bağlı olarak, bize göre büyük bir hızla kaçmasını gerek-

[ŞEKİL — 36]

KUASARLARIN KIRMIZIYA DOĞRU KAYMALARI



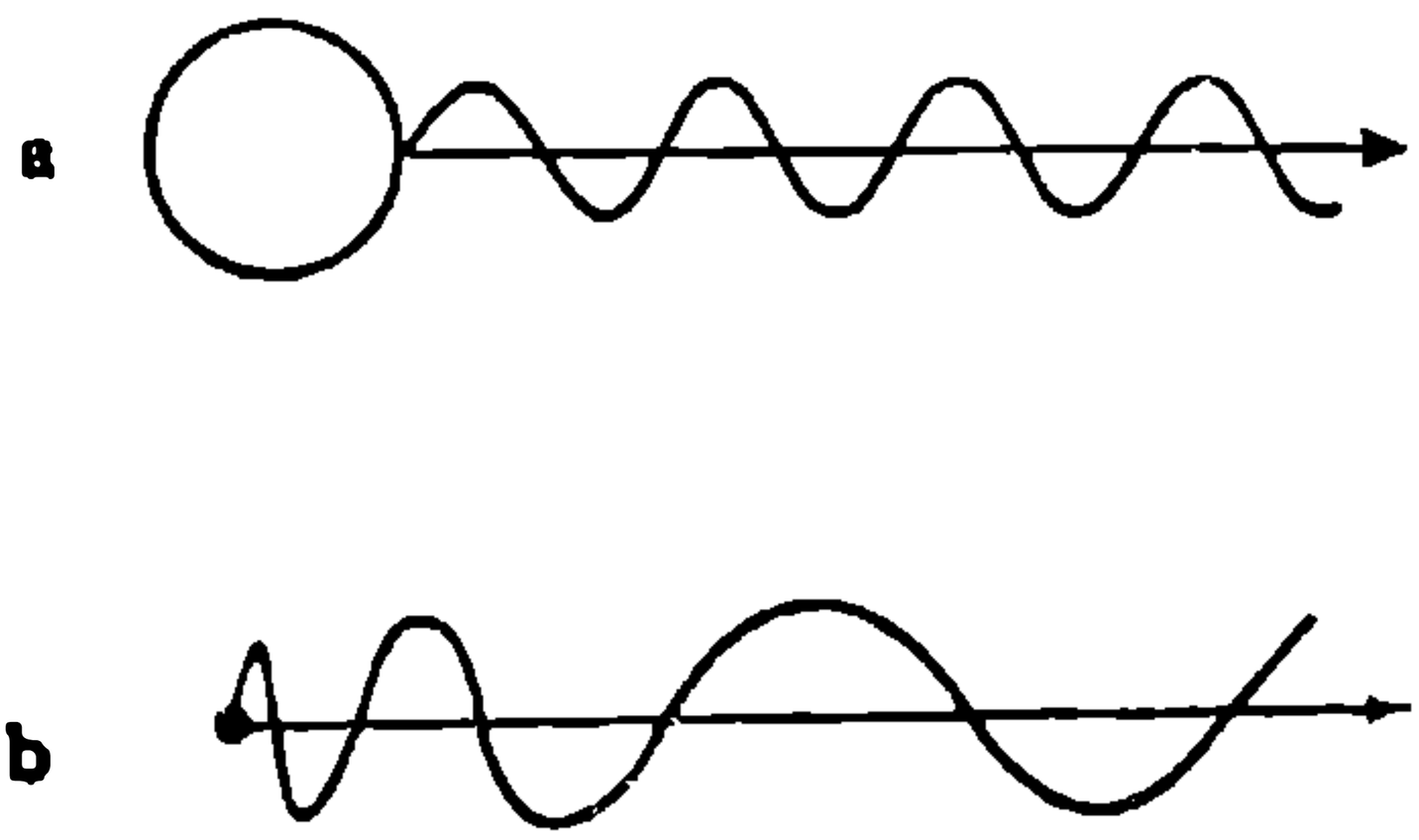
Doğru çizgi, galaksilerin izledikleri Hubble yasasını gösteriyor.

tirir. Bu varsayımda, en uzak kuasarlar dokuz milyar ışık-yılı gibi akılalmaz bir uzaklıkta bulunacaklardır. Aynı zamanda, genel rölativitenin açıkladığı gibi, kırmızıya doğru kaymanın, çok şiddetli bir gravitasyonel alanın etkisinden meydana gelmesi de olanaklıdır. Öyleyse, kuasarlardan bize ulaşan ışımanın, başlangıçta ağırlığın çok büyük olduğu bir bölgede meydana gelmiş olması nedeniyle, kırmızıya doğru kaymış olduğu düşünülebilir. Benimsenen açıklama hangisi olursa olsun, bundan daima kuasarların garip cisimler oldu-

ğu sonucu çıkar. Çünkü kaymaları evrenin genişlemesin-

[ŞEKİL — 37]

KIRMIZIYA DOĞRU GRAVİTASYONEL KAYMA



a) Ağırlığın normal olduğu bir cismin yüzeyinden gelen ışık ışıması. b) Ağırlığın rölativist etkiler meydana getirdiği bir cisimden gelen ışıma: ışımanın uzaklardaki dalga boyu, ağırlık alanındakinden daha büyüktür. Bu, kırmızıya doğru çekimsel kaymadır.

den geliyorsa, bize bu kadar uzaktan, en parlak galaksilerin uzaklığından on-yüzbin kere daha büyük bir uzaklıktan gelebilmesi için, aydınlatma miktarlarının akılalmaz derecede büyük olması gerektir. Kayma çekimden geliyorsa, o zaman maddenin bizim için hiç mi hiç bilinmeyen koşullar içinde bulunduğu garip cisimler karşısındayız demektir.

Sorun henüz kesin olarak çözümlenmiş sayılmazsa da, birinci açıklamanın doğru olduğunu düşündürecek çok kuv-

vetli nedenler vardır. Özellikle, son zamanlarda, gök fotoğrafları üzerinde, bir galaksiye çok yakın olan ve bu galaksilerin gösterdiği tayf kaymalarının aynını gösteren kuasarlar bulunmuştur. Bu nokta iki cismin gerçekten birbirine çok yakın olduğunu ve böylece her ikisinin de kozmolojik uzaklıklarda bulunduklarını kuvvetle düşündürmektedir.

Bununla birlikte işler bu kadar basit değildir. Gerçekten de bir ışık kaynağı tayfının iki türlü çizgi verdiği biliniyor: bunlardan bir bölümü parlaktır ve atomların yayınından meydana gelirler; soğurmadan gelen ötekiler ise sürekli fon üzerinde siyah çizgiler olarak görünürler. Yayın çizgileri, ışıma yayan atomların bize göre hızının ne olduğunu söylerler. Soğurma çizgileri ise, aynı şekilde soğurucu atomların hızını belirlerler ve bu atomlar genel olarak yayın yapanlarla aynı değildir. O halde, kuasarlar için soğurucu çizgilerin tayf kaymalarını ölçersek, çoğu kez bunun, yayın çizgilerininkinden farklı olduğu görülür. Bu sonucun bir açıklaması, kuasarın, yayınladığı ışımasını kısmen soğuran bulutlar saçtığını varsaymaktan ibarettir. Durum böyle ise yayındaki kayma ile soğurmadaki kayma arasında görülen büyük farklar, bu bulutların ışığınkine yakın hızlarla yolalmalarını gerektirecektir.

[ŞEKİL — 38]

YAKIN OLDUKLARI VARSAYILAN BİR KUASARLA BİR GALAKSİNİN OPTİK GÖRÜNÜŞÜ

a) Kısa poz: kuasar bir nokta gibi görünüyor. Galaksi görünmüyor.
b) Uzun poz: kuasar, fotoğraf plağına fazla etki yapmıştır. Bir kuasarın bir galakside yer almadığından emin olmanın ne kadar güç olduğu görülüyor.

Kuasarlar radyoteleskoplarla gözlendiğinde, boyutları çoğu kez bir galaksininkiler mertebesinde olan yaygın kaynaklarla çevrilmiş gibi görünürler; ama genellikle, hem çok küçük hem çok şiddetli bir radyo yayın kaynağı da birlikte

bulunur ve bunun boyutları bir ışık-yılından küçüktür (karşılaştırılması için, bir galaksinin yarıçapının kendine özgü bir şekilde 30.000 ışık-yılı olduğunu söyleyelim). Yerkürenin birbirinden uzak iki noktasından (örneğin, Birleşik Amerika ile İsveç'ten) aynı zamanda aynı cismin gözlenmesine olanak sağlayan girişim yöntemleri sayesinde, bu uzaklıkların bu kadar kesinlikle ölçülmesi ve bu ölçümlerde elde edilen girişim işaretlerinin çözümlenmesi olanaklıdır. Ne yazık ki, görünür ışık alanında bunu gerçekleştirmek olanaksızdır, öyle ki, optik kaynakların boyutlarını doğrudan doğruya ölçemiyoruz. Bununla birlikte bu boyutların da küçük olduklarına inanabiliriz. Gerçekten, onların ışımalarının şiddetinin, çoğu kez düzensiz bir şekilde, haftadan haftaya ya da aydan aya değiştiğini görüyoruz. O halde bu tür değişiklikler, ancak kaynağın kendisinin de bir ışık haftasından ya da bir ışık ayından küçük olması halinde meydana gelebilir. Bu, şu temel özellikten ileri geliyor: herhangi bir fizik etki (bu durumda değişikliğin ateş alması) ışıktan daha hızlı yayılamaz. Böylece bir kuasarın, en etkin bölümü belki küçük sayılabilir, bu asla daha az etkin ve daha yaygın bölümlerinin bulunamayacağı anlamına gelmez: büyük radyo bileşenlerinde durum böyledir. Bir kuasarın görüntüsünün, bir fotoğraf plağı üzerinde bıraktığı kırınım lekesi, merkezinde kuasar gizleyecek olan bir galaksinin görüntüsünü ayırdetmemize pekâlâ engel olabilecektir.*

Öyleyse kuasarlar nispeten sayıları az olan küçük boyutlu cisimler olarak görünürler, bunların çok şiddetli ışıması başlıca kızıl-ötesinde, ama aynı zamanda optik ve radyo tayfının şeridinde bulunur. On yıldan beri sistemli olarak yürütülen ayrıntılı araştırmalar, özellikle karmaşık bir yapıyı düşündürür gibi görünen bu cisimlerin, başka birçok özelliklerini ortaya çıkarmıştır.

* Son gözlemler, bu durumun sık sık gerçekleştiğini gösteriyor.

Öyleyse bir kuasar nedir ve özellikle onun çok büyük olan enerjisinin kaynağı nedir? İnandırıcı bir şekilde gösterilebilmiştir ki, nükleer enerjinin kendisi de yetersizdi ve kuasarın kütlesinin önemli bir parçasını ışımaya çevirecek güçte başka enerji kaynakları araştırmak gerekiyordu. En gözalıcı varsayımlar arasında birkaçını sayabiliriz: çok büyük bir kütlesi olan cisimler, yani dönüş hızı ışığınkine yakın dev bir yıldız sözkonusu olabilir. Bu durumda bu dönmenin enerjisi, ışımanın nedeni olacaktır. Bunun gibi, aynı türden, ama birbirine yakın, çok sayıda yıldızlardan oluşmuş bir cisim düşünülebilir, öyle ki, enerji, yıldızlar arasındaki çarpışmalardan gelmiş olabilir. Bu hallerin herbirinde bu kadar olağan-dışı sistemlerin nasıl meydana geldiklerini açıklamak gerekecektir.

Karşı-maddenin varlığını kabul eden bir evrenbilimsel modelde, ışıyan enerjinin kaynağını madde ile karşı-madde arasındaki yokolmaya yüklemek doğal görünür, çünkü burada enerji üretiminin en etkili biçimi sözkonusudur. Böyle olursa, galaksilerin oluşumu anında, örneğin bunlardan, maddeden oluşan bazılarının, önemli miktarda karşı-maddeyi kuşatabileceklerini kabul etmek gerekecektir. Gelişmesi sırasında alabileceği son şekil iyice aydınlatılmış değildir, ve karşı-maddenin çok yoğun cisimlerden mi meydana gelmiş olabileceği, yoksa nispeten soğuk ve az yoğun bulutlar halinde mi kalmış olabileceği henüz belirtilememiştir. Gözönünde bulundurulan duruma göre çok farklı modeller elde edilir ve bunların sistemli olarak araştırılması henüz tam başarılmış değildir.

Bu sorunların çözümü, belki de kuasarların doğrudan doğruya gözlenmesi ile değil, onlara çok yakın akraba görünen bazı galaksilerin gözlenmesi ile elde edilecektir. Bunlara Seyfert galaksileri denir ve bunları kısaca göstermek için, merkezlerinde küçük bir kuasar bulunan galaksilerin sözkonusu olduğu söylenir. Galaksiler arasında merkezlerinde *çe-*

kirdek denilen, özellikle yıldız bakımından yoğun bir bölgenin bulunması çok yaygın bir görüngüdür. Bu, özellikle bizim Galakşimiz için doğrudur. Seyfert galaksilerinde çekirdeğin kendisi de küçük bir kuasarı kapsar görünüyor. Bu, açıkça, galaksi çekirdekleri ile kuasarların mekanizmasının başlangıcı sorunlarını birbirine bağlamamızı bize anımsatıyor, ki yukarda kısaca sözünü ettiğimiz teorilerden herbiri de bu yolu izlemektedir. Bizimki gibi, görünürde olağan galaksiler sözkonusu olduğu zaman bile, çekirdeklerin çoğu kez şiddetli ve patlayıcı görüngülerin sahnesi olduğu dikkate değer. Böylece bizim galaksimizin çekirdeğinden şimdi saniyede binlerce kilometre hızla yer değiştiren bulutlar fırlatılmaktadır. Yine böylece, bu çekirdekte, tayfı kuasarların tayfını anımsatan kızıl-ötesi ışıma kaynakları görülmektedir. Bütün bunlar, kuasarların ortaya koydukları görüngünün, sonuçta, ilk bakışta göründüğü kadar seyrek olmadığını kuvvetle düşündürüyor. Belki de tersine, çok geniş bir biçimde yayılmış cisimlerin aşırı bir halini meydana getirmektedir. Belki de galaksimizin çekirdeğini gözleyerek, kuasarların gizemini aydınlatmayı başarabileceğiz.

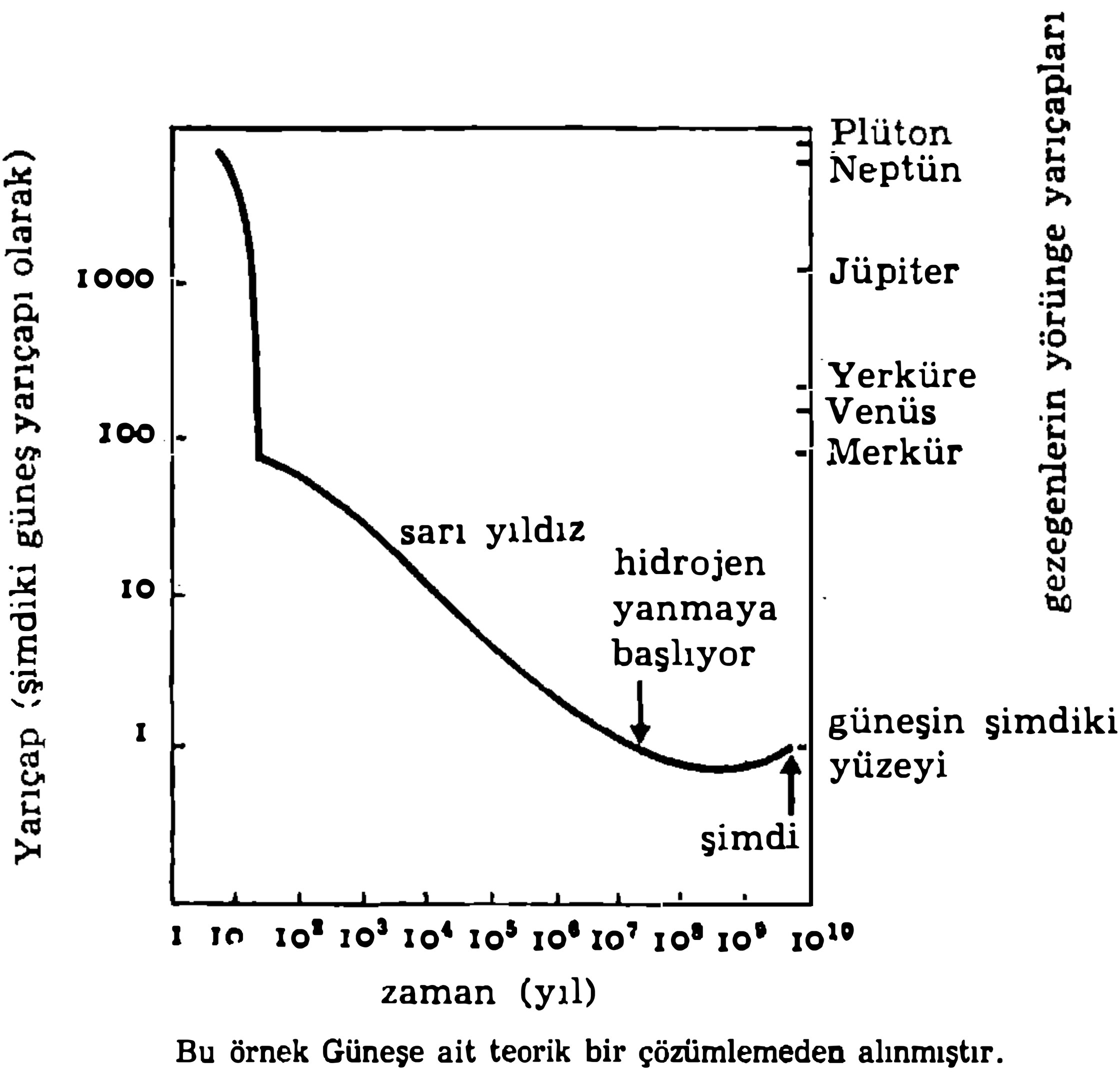
BİR YILDIZIN DOĞUŞU

On milyar yıldan beri yıldızlar doğuyorlar ve ölüyorlar. Şimdi bile, galaksinin bir yerinde, her beşyüz ya da bin yılda bir, yeni bir yıldız ortaya çıkıyor. Öyleyse içinde yaşadığımız evren henüz tam gençlik halindedir. Büyük bir olasılıkla, galaksilerin oluşumundan sorumlu olan çekim dengesizliği mekanizması, bir yıldızın ilk ortaya çıkışının da nedenidir. Orada da eskiden galaksileri oluşturan geniş gaz kütlesinde olduğu gibi, bazı yöneltme hareketlerinin şimdi de yıldızlararası maddeyi oluşturan gaz ve toz bulutları arasında zayıf ve düzgün olmayan dağılmalar yaratabileceği düşünülmektedir. Böyle bir tür dağılma bir kez yaratıldı mı,

sıkışmaya ve kendini çevreleyen gaz üzerinde meydana getirdiği gravitasyonel çekim ile kendini güçlendirmeye doğru gider. Oldukça uzun bir zaman boyunca, ilk bulutun içinde, önce soğuk ve karanlık olan yoğun bölgeler oluşur. Bununla birlikte, gravitasyonel enerjinin ısı enerjisine dönüşmesiyle, sıcaklıklar yavaş yavaş artar.

[ŞEKİL — 39]

BİR YILDIZIN YARIÇAPININ ZAMANA GÖRE GELİŞİMİ



Bu örnek Güneşe ait teorik bir çözümlemeden alınmıştır.

Bu yoğunlaşmalardan biri, şimdiki güneş sisteminin boyutuna ulaşınca, yani yarıçapı Plüton yörüngesinin mertebesine varınca, yeni bir fizik görüngüsü meydana gelir; o zaman sıcaklık yeter derecede yükselmiştir, ya da başka bir deyişle, atomların hızı, çarpışarak birbirlerinden elektron-

lar koparacak dereceye varmıştır: atomlar *iyonlaşmışlardır.* Bulutun büzülerek kazandığı gravitasyonel enerjinin büyük bir bölümü artık sıcaklığın yükselmesinde değil, bu iyonlaşmada kullanılır. O halde, ısınması ile birlikte gaz, büzülmesini yavaşlatıyordu: sıcaklık yükseldikçe basınç artıyor ve gravitasyonel kuvvete karşı artan bir direnme yaratıyordu. İyonlaşma ısınmayı durdurduğu anda büzülme sürecine artık karşı konulamıyor, bu bir altüst oluş halini alıyor ve bir çöküntüye dönüşüyor. Bütün gaz kütlesi aşağıyukarı serbest düşüşün hızına eşit bir hızla merkeze hücum ediyor. Bir yıldan daha az bir zamanda yoğunlaşan maddenin çoğu, güneşin yarıçapınıı yüz katı mertebesinde olan boyutlara, yani Merkürün yörünge yarıçapına toplanmış bulunuyor. Bu aşamada, sıkışma önemli ölçüde yavaşlıyor. O zaman madde tamamıyla iyonlaşmış olduğundan, tohum halindeki yıldızın küçülerek kazandığı gravitasyon enerjisi onu yeniden ısıtıyor ve basıncı artırıyor. Artık karanlık bir bulut karşısında değil belki de yüzey sıcaklığı dörtbin dereceye ulaşan görünür bir cisim karşısındayız. Bu, altıbin derece olan Güneş yüzeyinin sıcaklığından düşük olmakla birlikte, yeni doğan bu yıldızın saçtığı ışık enerjisi çok önemlidir. Çünkü yüzeyi çok büyüktür. Böyle bir yıldız, örnek olarak, güneşten yüz defa daha parlaktır.

Böyle bir görüngü ortalama, ancak beşyüz ya da bin yılda bir meydana geldiği halde, bunu 1936'da Orion burcunda bulunan bir gaz ve toz bulutunda gözlemek şansına erişilmiştir. Bugün çok sayıda pek genç yıldızlar tanıyoruz. Bunlara içlerinden biri, Boğa sınıfından yıldızlara örnek olduğu için τ (Tau) denir. Bunların doğrudan doğruya ve spektroskobik gözlemleri, bize ilginç birçok görüngüler, örneğin, çok hızlı bir dönme hareketinin varlığını ve çok miktarda maddenin devamlı olarak fırlatıldığını gösteriyor.

Genç yıldız büzülmesini sürdürdüğünden, merkezinde yoğunluk ve sıcaklık durmadan artar ve bu, bir hidrojen bom-

basının patlamasında görülenlere benzeyen termo-nükleer tepkimelerin meydana geldiği ana kadar sürer. İşte o zaman yıldız ergin çağına gelmiştir.

BİR YILDIZ VARLIĞINI NASIL SÜRDÜRÜR?

Yıldız birkaç yüz milyon yıldan birkaç on milyar yıla kadar yaşayacaktır ve kütlesi küçük olduğu ölçüde bu yaşam daha uzun sürecektir. Bütün bu dönemde ise nükleer enerji tüketerek parlayacaktır.

Güneş, örnek bir yıldızdır ve onun ayırdedici özellikleri bir yıldızın ortalama yapısı hakkında iyi bir fikir verir. Yarıçapı, yediyüzbin kilometreye yakındır, yani Yeryüzününkinin 100 katından biraz büyüktür. Kütlesi aşağıyukarı 2×10^{33} gramdır, yani Yeryüzünün dörtyüz bin katıdır. Yüzeyindeki ağırlık alışık olduğumuzun yirmiyedi katıdır. Yaydığı ışıma 4×10^{26} watt gücüne yakındır. Yüzeyinin sıcaklığı altıbin derecedir. Merkezinde, sıcaklığın 14 milyon derece olduğu ve cm^3 başına 100 gr yoğunluk düştüğü tahmin edilmektedir.

Bilimler tarihinde Güneşle yıldızların saçtıkları çok büyük enerji miktarlarını nereden almış olabileceklerini öğrenmek kadar, büyüleyici bir sorun olmamıştır. Klasik çağda, başarıya ulaşmadan, bunun kaynağı gök taşlarının güneşe düşmesi olanağında ya da dönüş hareketinin enerjisinde aranmıştı. 1920'ye doğru, Jean Perrin ile Arthur Edington, birbirlerinden bağımsız olarak, yıldızların yandıklarını ve yakıtın birikerek Helyum çekirdeklerine dönüşen Hidrojen çekirdeklerinden meydana geldiği fikrini ortaya attılar. 1938'de, çekirdek fiziği konusundaki bilgilerimizde kesin ilerlemeler kaydedildikten sonra, Hanz Bethe ile C. F. Von Weizsäcker, işe karışan bazı tepkimeleri ayrıntılı olarak açıklamayı başardılar. O zamandan beri onların yaptıkları, önemli ölçüde genişletilmiş ve kesinleştirilmiştir. Yıldızların yapısı ile gelişmesinin, astrofiziğin en iyi anlaşılan sorunları arasın-

da sayılabileceğine kuşku yoktur.

Yıldızın, tıpkı onu meydana getirmiş olan bulut gibi, en büyük bölümünün hidrojenden oluştuğu anımsanmalıdır. İçinde bulunduğu sıcaklıkta, yürek denilen merkez bölgesinde, atom parçacıkları o kadar yüksek hızlarla yer değiştirmektedirler ki, elektronlar çekirdeklerden kopartılmıştır, böylece sistem, çok yoğun bir elektronlar ve çıplak çekirdekler gazıdır. Bu çıplak çekirdekler, bu sıcaklıklarda, kazandıkları önemli hız sayesinde çarpışma durumuna girebilirler.

Uygulamada, bir çarpışma sırasında iki çekirdeğin doğrudan doğruya birbirlerine değebilmeleri için, sıcaklığın milyon dereceye ulaşması zorunludur: gerçekte, bu çekirdeklerin hepsinde pozitif bir elektrik yükü vardır ve onlar, bu elektrik yükleri yüzünden birbirlerini iterler. Ancak, yeter derecede yüksek sıcaklıklarda hareketleri oldukça hızlanır ve böylece, yüklerinin doğurduğu itmeye karşın, iki çekirdek birbirlerine çarpabilecek hale gelirler.

Hidrojeni Helyuma dönüştürerek, çekirdek çarpışmaları enerji üretirler. Bu enerjinin bir bölümü yıldızı ısıtmaya yarar, böylece gravitasyonel çekimin onu daha çok sıkıştırmasına engel olan bir basıncın varlığını sürdürür. Kısaca, çekirdek tepkimelerinin etkisi ile gravitasyonun etkisi arasında böylece bir denge kurulur, ve bu denge, uzun bir dönem boyunca yıldızın kararlı durumda kalmasını sağlar. Böylece üretilen enerji, fotonların ısı ışıması biçiminde sürekli olarak dışarıya doğru yöneltilmiştir. Bu ise, yıldızların ayırdedici özelliği olan parlaklığı doğurur.

Öyleyse, yıldızların yaşamını yöneten başlıca görüngü, çekirdek tepkimeleri ile enerji üretilmesi olmaktadır. Bunu daha iyi anlamak için atom çekirdeklerinin yapısı hakkında birkaç söz söylemek gerekir.

Bir çekirdek, sayıları iyice belirli protonlarla nötronlardan oluşur. Protonların sayısını Z ile, nötronlarınkini ise N ile göstermek âdet olmuştur. Çekirdekteki nükleonların top-

lam sayısı A ile gösterilir. Bellidir ki $A = Z + N$ olur. Protonların sayısı, çekirdeğin elektrik yükünü ve bunun sonucu olarak, bir atomu oluşturmak üzere onun çevresinde dönen elektronların sayısını belirler. Protonlarının sayısı Z olan bir çekirdek, bu sayıya karşılık olan atomun kimyasal simgesi ile gösterilir. Alttaki tablo bunu göstermektedir.

Z = 1	Kimyasal Simge	İsim
1	H	Hidrojen
2	He	Helyum
3	Li	Lityum
4	Be	Berilyum
5	B	Bor
6	C	Karbon
7	N	Azot
8	O	Oksijen
9	F	Flor
10	Ne	Neon
12	Mg	Magnezyum
14	Si	Silisyum
16	S	Kükürt
28	Fe	Demir

Bir çekirdeğin özelliklerini tam olarak verebilmek için, N nötronlarının sayısının kaç olduğunu ya da kapsadığı A nükleonlarının toplam sayısını da vermek gerekir. Bir çekirdeğin yapısı, kimyasal simgesi ile ve A'nın değeri ile tam olarak belirlenir. Böylece He_4, dört nükleon ve sonuç olarak iki nötron kapsayan bir helyum çekirdeğini gösterir ($Z = 2$, yani 2 proton). Li_7 ise 7 nükleon ve öyleyse 4 nötron kapsayan bir Lityum çekirdeğini gösterir ($Z = 3$, yani 3 proton), vb..

İki protonu ve iki nötronu ile Helyum çekirdeğini ele alalım. Bu dört parçacık, çok güçlü ölçüde çekici olan çekirdek kuvvetleriyle, pratik olarak, birbirleriyle temas halinde tutulurlar (iki protonu birbirinden uzaklaştırmak isteyen hafif elektriksel itme gücü çok daha zayıftır). İki protonla iki nöt-

rondan hareket ederek ve bir Helyum çekirdeği oluşturmak üzere onları birleştirerek enerjinin nasıl meydana getirilebileceği böylece anlaşılmış olur. Bunun dayandığı varsayım yalnızca şudur: helyumun çekirdeğindeki enerji, serbest olduklarında dört bileşenin herbirinde bulunan enerjilerin toplamından daha küçüktür (Einstein'ın $E = mc^2$ bağıntısına göre bileşenlerin herbirine özgü olan bu enerji, nükleonların kütle enerjisinden başka bir şey değildir). Bunun böyle olduğuna inanmak için, helyum çekirdeğinden bir protonu ya da bir nötronu koparmanın güç olduğunu ve böylece bu çekirdeği parçalamak için enerji harcamak gerektiğini anlamak yetecektir. İşte helyumun bileştirilmesi sırasında yıldızlarda meydana gelen, bu aynı enerji miktarıdır.

Böyle bir bileştirme sürecinde, bir helyum çekirdeğine ulaşmak için dört hidrojen çekirdeğinden, yani dört protondan hareket edilir. Bu koşullarda protonlardan ikisinin nötron haline getirilmiş olması, yani bu protonların taşıdıkları pozitif elektrik yükünün bu işlem boyunca, ortaya çıkan başka parçalara aktarılması gerekir: Bu, pratik olarak, pozitronların yayınlanması anlamına gelir. Böylece meydana gelen çekirdek tepkimeleri dizisi oldukça karmaşıktır, ama bunun betimlenmesi, görüngülerin toplu bir biçimde anlaşılması için gerçekte gerekli değildir.

Helyum bileştirilmesi ile ilgili tepkimeler dizisi, bir döteryum çekirdeğini (ağır hidrojen H_2 çekirdeğini), bir e^+ pozitronunu ve bir ν nötrinosunu doğuran iki protonun çarpışması ile başlar:

$$p + p \rightarrow d + e^+ + \nu.$$

Bir başka proton, döteryum çekirdeğine çarparak, bir helyum 3 çekirdeği ve bir foton doğurabilir:

$$p + d \rightarrow He^3 + \gamma.$$

İki helyum 3 çekirdeği, iki protonu serbest bırakarak bir helyum 4 çekirdeği doğurur:

$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + p + p.$$

Helyum 3, gazdaki bir helyum 4 çekirdeğine çarparak bir berilyum 7 ve bir foton verir:

$$He^3 + He^4 \rightarrow Be^7 + \gamma.$$

Bundan sonra işler karışır. Berilyum 7, ya bir elektrona ya da bir protona çarpabilir. Birinci halde:

$$Be^7 + e^- \rightarrow Li^7 + \nu$$

elde edilir, ve lityum bir protona çarparak:

$$Li^7 + p \rightarrow He^4 + He^4.$$

verir. Berilyum 7'nin bir protona çarpması halinde ise, şu tepkimenin meydana geldiği görülür:

$$Be^7 + p \rightarrow B^8 + \gamma;$$

Bor 8, parçalanarak:

$$B^8 \rightarrow Be^8 + e^+ + \nu.$$

oluşur.

Berilyum 8 kararsızdır ve iki helyum çekirdeğine ayrılır:

$$Be^8 \rightarrow He^4 + He^4.$$

Toplam olarak tepkimelerde işe karışan elektronlar, pozitronlar, fotonlar ve nötrinolar hesaba katılmazsa, dört protonun tepkime haline geçtiği ve bundan, bir helyum çekirdeğinin ortaya çıktığı görülür. Bu mekanizmanın enerji üretmesi, helyum çekirdeğinin dört protondan hafif olmasından ileri gelir. Çünkü bunlara karşı gelen kütle enerjilerinin farkı, parçacıkların hareketlerinde yeniden ortaya çıkar, yani sistemin ısınmasına katılırlar.

Bu tepkimeler galaksiyi oluşturan ilk gazdan başlayarak, doğrudan doğruya oluşan bir yıldızda meydana gelirler. Bu gaz, hidrojen bakımından zengin olup en çok belli bir miktarda helyum barındırır. Güneş gibi, daha sonra oluşan yıldızlar, içinde birkaç ağır çekirdek bulunan bir gazdan başlayarak meydana gelmişlerdir. Güneşte ve benzer yıldızlarda, hidrojeni helyum haline getiren mekanizma öncekinden farklıdır. Burada, helyumun bileşmesi az miktarda karbon-

la azotun katalizör rolünü oynamasıyla gerçekleşmiştir. Bir karbon çekirdeği bir protona raslayınca azot 13 ile bir proton meydana getirir:

$$C^{12} + p \rightarrow N^{13} + \gamma.$$

O zaman azot 13, karbon 13'e, bir pozitrona ve bir nötrinoya ayrılır:

$$N^{13} \rightarrow C^{13} + e^{+} + \nu.$$

Karbon 13, bir protona raslayarak azot 14 ile bir foton verir:

$$C^{13} + p \rightarrow N^{14} + \gamma.$$

Sonra şu tepkimeler görülür:

$$N^{14} + p \rightarrow O^{15} + \nu$$
$$O^{15} \rightarrow N^{15} + e^{+} + \gamma$$
$$N^{15} + p \rightarrow He^{4} + C^{12}.$$

Öyleyse, başlangıçtaki C^{12} karbonu, çıkışta yeniden elde edilmiştir ve yeni tepkileşmeler doğurabilir. Dört proton bir helyum 4 meydana getirmişlerdir.

Şimdi anlatılan tepki çevrimi, işe karışan tek etken değildir. Azot 14'ten başlayan ve tepkimeleri aşağıda gösterilen bir ikinci çevrim daha vardır.

$$N^{14} + p \rightarrow O^{15} + \gamma$$
$$O^{15} \rightarrow N^{15} + e^{+} + \nu$$
$$N^{15} + p \rightarrow O^{16} + \gamma$$
$$O^{16} + p \rightarrow F^{17} + \gamma$$
$$F^{17} \rightarrow O^{17} + e^{+} + \nu$$
$$O^{17} + p \rightarrow He^{4} + N^{14}.$$

Toplam olarak görülüyor ki, helyum bileşmesi, bütün bir çekirdek tepkimeleri dizisiyle meydana geliyor ve bundan bir enerji üretimi doğuyor. Yıldızın hidrojenini "yaktığını" söyleyerek bu süreçleri anlatmak yanlış olmayacaktır. Çünkü şimdi saydığımız çekirdek tepkimeleri ile, olağan yanmalarda görülen kimyasal tepkimeler arasında büyük bir benzerlik vardır.

Hidrojenin yanması ile ortaya çıkan enerji üretiminin başlıca mekanizmayı oluşturduğu yıldızlar, gökbilimde asal

dizi denilen sınıfı meydana getirirler. Bütün bu yıldızların iç yapıları birbirlerine çok benzemektedir. Denebilir ki, onlar arasında bulunan esaslı fark kütleleridir. Bu özellik, bütün öteki özellikleri ve öncelikle parlaklığı belirler. Kütlesi en büyük olan yıldızlar, en çok parlak olanlardır ve bunun sonucu olarak hidrojenlerini daha çabuk yitirirler. Böylece kütlesi Güneşinkinin yüz katı mertebesinde olan bir yıldız, mevcut hidrojeni ile yaşamını ancak birkaç milyon yıl sürdürecektir, buna karşılık kütlesi Güneşin kütlesinden daha küçük olan yıldızlar pratik olarak, Galaksinin başlangıcından beri vardırlar ve yakıtlarının ancak henüz küçük bir bölümünü tüketmişlerdir.

YILDIZLARIN GELİŞMESİ

Bir yıldızın nasıl doğduğunu ve yaşamının birinci bölümünde varlığını nasıl sürdürdüğünü gördük. Şimdi, gelişmesini hangi aşamalarda devam ettirdiğini ve nasıl öldüğünü göreceğiz. Bu bilgiler, teorik modellerin gözlemle ve özellikle yıldızlar üzerindeki istatistik verilerin karşılaştırılması ile elde edilmiştir. Bunun, ana çizgileriyle, akla-yakın bir ölçüde açıklığa kavuştuğu kabul edilebilir.

Mekanik dengesini gerçekleştirmesi için, bir yıldız, pratik olarak, küre biçimine sahiptir. Bununla birlikte teorik modelleri gözlemle uzlaştırabilmek için bu kürenin homojen olmadığını ve eşmerkezli küresel tabaklar halinde birtakım yapılar kazandığını kabul etmek zorunluluğu vardır. Bu tabakalar, yıldızın gelişmesi boyunca boyutlarında, yapılarında ve bileşimlerinde büyük değişikliklere uğrayabilir. Sıcaklık, basınç, hatta ortamın kimyasal bileşimi, yani çeşitli çekirdek sınıflarının birbirlerine göre çokluğu, bir tabakadan ötekine geçince değişir. Bu değişme, yıldızın denge halinde olduğunu bildiren basit fizik yasaları tarafından yönetilir. Öyle ki, gravitasyonel kuvvet, basıncın uyguladığı kuvvetler

tarafından dengelenir (mekanik denge), bu sırada çekirdek tepkimelerinin ürettiği enerji, merkezden çevreye aktarılmaktadır (enerji dengesi). Uygulamada bu enerji, yıldız içersinde yolunu arayan fotonlar tarafından taşınır. Bunlar maddenin elektronları ile durmadan çarpışırlar ve milyonlarca çarpışmadan sonra ışıma biçimi altında uzaklaşmayı başarırlar. (Bu görüngüye dağılma denir.)

Bir önceki bölümde anlatılmış olan asal dizinin genç yıldızına dönelim. Görüldüğü gibi burada kaynaşma (*fusion*) tepkimeleri, protonları, helyum çekirdekleri haline getiriyordu. Sıcaklıkla yoğunluk yıldızın merkezinde en yüksek değerlerine ulaşırlar ve çevreye yaklaştıkça azalırlar ve böylece enerji dengesini gerçekleştirirler. Miktarlar büyük olduğu ölçüde daha etkin olan çekirdek tepkimeleri, *yürek* denilen ve yıldızın merkezine yakın olan bir bölgede helyum üretmeye başlar. Buna göre, yıldız yaşlandıkça yürek bölgesinde gittikçe daha çok helyum birikir. Çevredeki hidrojen ise olduğu gibi kalır.

Yürekte hidrojenin önemli bir bölümü yandığı zaman, bir meyvedeki çekirdek gibi, yürek büzülmeye başlar. Aynı görüngünün başlangıcını şöyle anlatabiliriz: bir helyum çekirdeği oluşturmak üzere başlıca dört protonu birleştiren kaynaşma tepkimeleri, serbest parçacıkların sayısını önemli ölçüde azaltır. Örneğin, protonları bisikletçiler ve helyum çekirdeklerini dört oturma yeri olan arabalar gibi düşünürsek, açıktır ki ne kadar çok sayıda bisikletçi beraberce arabalara binerlerse, yer değiştiren araçların, yani parçacıkların tüm sayısı gittikçe o ölçüde azalır. Yani olan şudur ki, verilen sıcaklıkta, yıldız maddesinde bulunan basınç, bu parçacıkların sayısı ile orantılı olduğundan, çekirdek tepkimeleri, yürekteki basıncı gittikçe azaltırlar. Yürek de mekanik dengeyi bozmaya doğru gider. Sonuç olarak bu parçalardan herbiri merkeze düştükçe yürek büzülür. Bu düşme, yüreğin maddesine çekim enerjisi geçirir, bu enerji de, parça-

cıklar arasındaki çarpmaların etkisiyle hemen ısı hareketine dönüşür. Böylece yıldızın yüreği ısınarak büzülür.

Sıcaklıkla yoğunluğun yürekte arttığı sırada, çekirdek tepkimeleri burada gittikçe hızlanır ve hidrojen gittikçe daha çabuk yanar, bu da enerji üretimini çoğaltır. Bu koşullar altında enerji dengesi sorunu yeniden ortaya çıkar. Yıldız, merkezinde üreyen enerjiyi, ancak dış yüzeyinden ışıyarak boşaltabilir. Pratik olarak, bu yüzeyi çoğaltarak, yani yine hidrojenden oluşan çevre bölgesinde bir şişkinlik meydana getirerek ışımayı çoğaltabilir ve böylelikle denge yeniden kurulur. Öyleyse yıldızın farklı iki tabakasının davranışı birbirinin tersi olmaktadır. Helyum bakımından gittikçe zenginleşen yürek zamanla büzülürken hidrojen zarfı genişlemeye başlar. Bu durumda yıldız, çekirdeği gittikçe yoğunlaşan ve etli bölümü ise daha fazla büyüyen bir meyveye benzer. Dışardan kuşkusuz ancak yüzeydeki bölge görünür. Bunun yarıçapı ilk değerinin yüz misline kadar ulaşabilir. Öte yandan yüreğin sıcaklığı biraz azalır ki, bu, ışımaya kırmızı bir renk verir. Yıldız bir *kırmızı dev* olmuştur.

Kırmızı devin sıcak yüreğinde bütün hidrojen, helyum haline gelince çekirdek tepkimeleri durur. Ama hidrojen tabakasının iç kısımlarında enerji üretimi sürüp gider. Kalınlığı aşağıyukarı üçbin kilometre olan sıcak ve ince bir tabaka ortaya çıkar. Bu iç tabakada etin dış kısmını kemirerek daha yukarda anlatılan karbon-hidrojen çevrimine göre hidrojenin helyum haline gelmesi sürekli olarak devam eder. Üretilen helyum yüreğe düşerse de bunun boyutları pek az artar (örnek bir halde yarıçapı Yerküreninkinin ancak beş katıdır). Yürek yine sıcaklığını ve yoğunluğunu artırmayı sürdürür. Iben'den aldığımız rakamlara göre, kütlesi Güneş kütlesinin 0,7 katı olan bir yıldız, üç milyar yıl boyunca asal dizide kalır ve kırmızı dev döneminde üçyüz milyon yıl geçirir.

Sonunda öyle bir an gelir ki, devin yüreğinde sıcaklık 80

milyon dereceye ulaşır. Bu koşullarda helyum artık cansız bir bölge olmaktan çıkar ve orada da çekirdek tepkimeleri meydana gelebilir. Bu sırada karbon ya da oksijen çekirdekleri meydana getirmek üzere birçok helyum çekirdeği birbiri içinde kaynaşabilirler. Bu görüngü, anî olarak yıkımlı bir gidişe sürüklenebilir. Çünkü bu süreçte üretilen enerji yıldızın boşaltabileceğinden çok daha fazladır. Bu yüzden yürek gittikçe ısınır ve bu, kaynaşma tepkilemelerinin temposunu daha da artırır. Çok geçmeden, bu önemli ısınma sonunda yürek şiddetli bir şekilde genişler ve bunun sonucu olarak da, yıldızın çeşitli tabakalarında bulunan maddenin büyük bir bölümü yeniden karışır.

Bu bunalımdan sonra yıldız artık kırmızı bir dev olmaktan çıkar. O vakit yeni oluşan bir yürekte helyum ve çevrede ise hidrojen yakarak parlar. Daha sonraki gelişmesi genel olarak çok daha karmaşık görünmektedir ve özellikle birçok kere kararsız durumlara gelebilir. Bu kararsız durumlar ışık yayınında peryodik dalgalanmalar meydana getirebilir ki, bu, bazı göz kırpan ya da değişen yıldızlar örneklerini açıklamaktadır. Yine olabilir ki, özellikle şiddetli hidrodinamik kararsızlıkların sonucu olarak, yıldızın dış tabakası şiddetle püskürtülmüştür. Gezegen bulutsularının böylece meydana gelebilecekleri düşünülüyor. Bunlar gözlemde, etrafı bir duman halkasını andıran (Güneşin parlaklığının birkaç bin katına ulaşan bir parlaklık) parlak bir gaz tabakası ile çevrili, çok parlak bir mavi yıldız şeklinde görünür.

Sonunda yıldızların ölümüne geliyoruz. En hafifleri için ölüm uzun bir soysuzlaşmadan başka bir şey değildir. Gerçekten, bir yıldızın kütlesi, Güneş kütlesinin 0,6 katından küçük ise o hiç bir zaman, kaynaşma ile yürekte helyumdan daha ağır çekirdekler meydana getirecek kadar sıcak olamayacaktır. Bu koşullar altında bütün hidrojen yanıp bitince, çekirdek enerjisi üretimi durur. Her zaman olduğu gibi bu duruş dengeyi bozar ve yıldız çöker. Gittikçe küçülür,

düşüşünün doğurduğu önemli gravitasyonel enerjisini ışık yayımı ile etrafa saçar. Bu büzülme, yıldız maddesinde bulunan, ancak şimdiye kadar çok silik bir rol oynamış olan elektronların, kuantik nitelikteki itme kuvvetlerinin belirlediği mesafelere yaklaşmasına kadar sürer. Gerçekten bir elektron gazı kuvvetle sıkışırsa çöküş gravitasyonel kuvvetlerine dayanmaya yetecek kadar büyük basınçlar meydana getirir.* Gerçi bu tür etkiler ancak yıldızın yoğunluğu, santimetre küp başına bir ton mertebesindeki değerlere ulaştığı zaman görülen aşırı koşullarda meydana gelir. Böylece hafif bir yıldız hem çok küçük, hem de uzun süre çok sıcak bir durumda ömrünü tüketir. Bu bir *beyaz cücedir.* Yüreği o kadar küçüktür ki, milyarlarca yıl boyunca görünür olarak kalabilir, çünkü ışıması onu ancak pek yavaş soğutur.

Yıldız, Güneş kütlesinin 0,6 katından daha ağır ise büyük bir olasılıkla bir dizi çevrimsel tepkimelerden geçecektir. Yıldız burada derece derece ısınarak ve büzülerek, önce helyumunu karbon ve oksijene çevirir ve yakar, sonra karbonunu ve oksijenini yakar. Bu işlem başlıca demirden ve yapısı demirinkine yakın protonlardan ve nötronlardan oluşan çekirdekler meydana gelinceye kadar böylece sürer. Niçin burada duruyor ve sonra neler oluyor? Bu iki sorun içersinde, kimyasal elementlerin başlangıcı ve süpernovalar ile pulsarlar gibi, gökyüzünün iki harikasının olası açıklanması gizlidir.

SÜPERNOVALAR, PULSARLAR VE NÖTRON YILDIZLARI

Gördüğümüz gibi, görece hafif bir yıldız, helyumunu

* Pauli'nin çıkarma (*exclusion*) ilkesi nedeni ile her kuantik durum için ikiden fazla elektron bulunamaz ve atomda ya da bir metalde olduğu gibi, kuantik enerji düzeyleri, en düşük enerji düzeyinden başlayarak en yüksek enerji düzeyine kadar doldurulmuştur. Yıldızın hacmi azalınca, verilen bu kuantik durumda bulunan bir elektronun itmesi, Heisenberg'in belirsizlik bağıntısı yüzünden artar. Toplam olarak, elektronların tüm enerjisinde bir çoğalma görülür, bu da büyük bir basınç doğurur.

yakmayı başaramıyor ve yaşamını beyaz cüce olarak sona erdiriyordu. Demek ki, çoğu yıldızların o kadar büyük bir kütlesi vardır ki onların yazgısı bu olamaz. Öyleyse bunlar nasıl gelişecekler ve nasıl ölecekler?

Bir yıldızın kütlesi Güneşinkinin 0,6 katından büyükse, burada maddenin tümü esas olarak demir ailesi çekirdeklerinden oluşuncaya kadar, çekirdek tepkimeleri sürüp gider. Gerçekten de bu dönemde kaynaşma artık enerji üretimine olanak vermez, çünkü protonlarla nötronların en çok kuvvetle birbirlerine bağlı bulundukları çekirdekler, demir çekirdekleridir. Gerçekten kısmen bile olsa, iki demir çekirdeğinin birleşmesi enerji doğurmaz, tersine enerji tüketir.

Öyleyse çekirdek enerjisi üretme olanağının bulunmayışı karşısında, yıldızda, beyaz cücelerde raslanan büzülmeye benzer bir büzülme meydana gelir: artık yıldız maddesinin basıncını sürdürmeye yetecek enerji bulunmadığına göre, gravitasyonel kuvvet yıldızda birdenbire bir sıkışma doğurur. Beyaz cüceler halinde, yoğunluk santimetre küp başına 1 tona ulaştığı zaman, bu büzülme elektronların kuantik basıncı ile durduruluyordu. Burada daha büyük yıldızlar sözkonusu olunca, bizi ilgilendiren bu emniyet sübabı işlemez, *çünkü büziilme sırasında elektronlar kaybolur.*

Elektronların bu kayboluşunun nedeni, ulaşılan çok yüksek sıcaklıktır. Burada sıcaklığın bu yükselişi, maddenin, yeniden düşüşü sırasında kazandığı gravitasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesinden ileri gelmektedir. Şimdiki durumda, elektronların herbiri, protonlar tarafında yutulacak kadar büyük bir ısı enerjisi kazanırlar, böylece yeni türden bir çekirdek enerjisi meydana gelir ve burada bir elektron, çekirdekte bulunan bir protonla çarpışınca bir nötrino yayarak bu protonu nötrona dönüştürür.* Yıldızda bulunan elek-

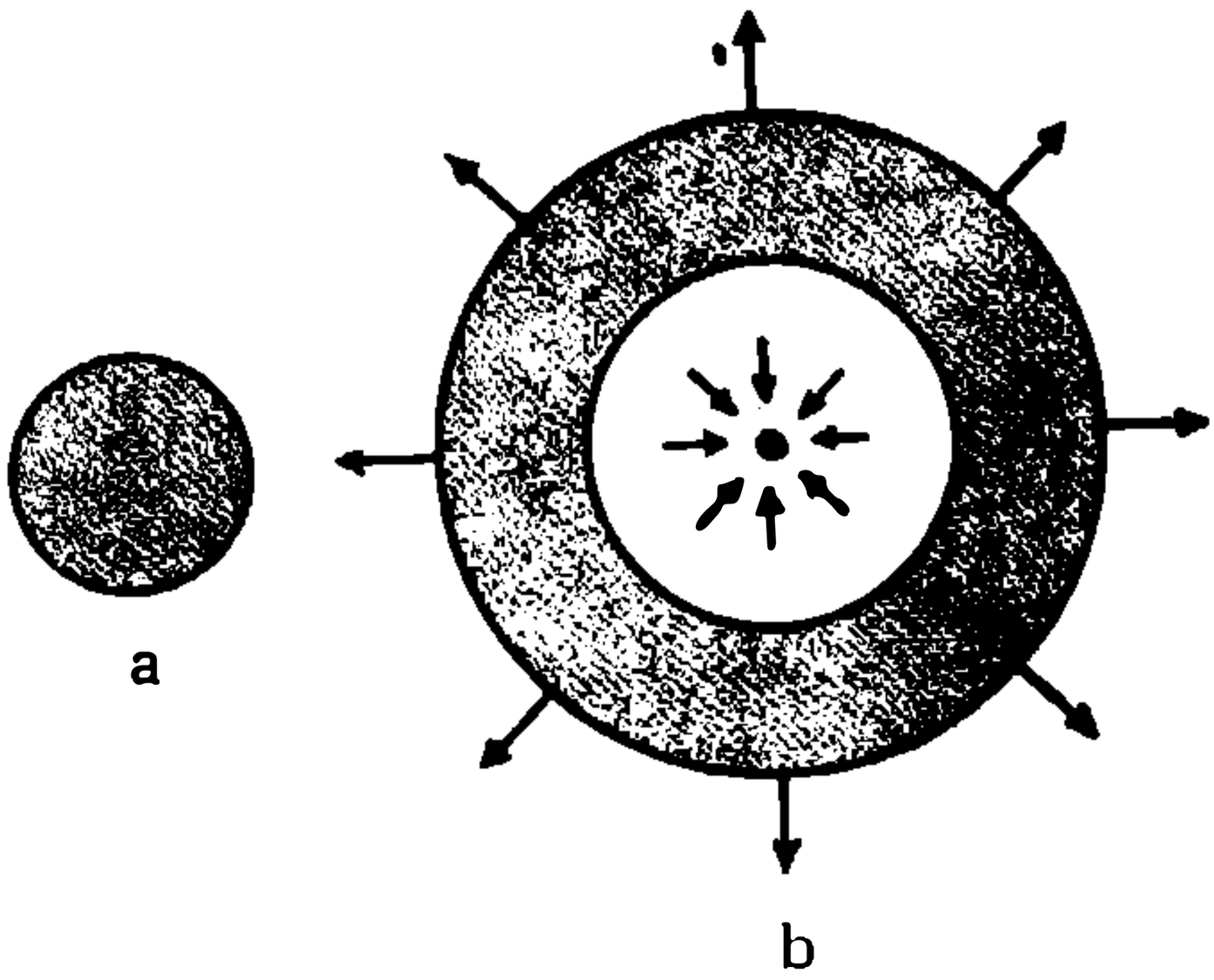
* Bu tepkime $e + p \longrightarrow n + \nu$ biçiminde yazılır. Bu tepkime elektronun yüksek enerji düzeyleri dışında olanaksızdır. Çünkü nötron, proton ile elektronun toplamından daha ağırdır ve bu kütle enerjisinin, elektronun hareketi ile üretilmesi gerekir.

tronlarla protonların çoğu, böylece kaybolurlar ve yerlerini, hemen hemen yalnızca nötronlardan oluşan bir maddeye bırakırlar.

Bu görüngü, yıldızın yüreğinde yer alır. İçe doğru bir gravitasyon patlaması ile, nötronların ve çok büyük bir enerji miktarının serbest kaldığı yer burasıdır. Yürekten, çok önemli ışıma ve nötrino akımları fışkırır. O zaman meydana gelen görüngülerin ayrıntıları, şimdiye kadar tamamıyla aydınlatılmış değildir, ama bu olasılık bir şeyi gösterir gibidir: fotonlarla nötrinoların içten gelen bu güçlü itmesinin etkisi altında yıldızın dış tabakası şiddetle patlar. Böylece yayılan enerji o kadar büyüktür ki, en aşırı durumlarda, yıldız birkaç gün için, içinde bulunduğu galaksiden daha parlak bir hal alabilir.

[ŞEKİL — 40]

BİR SÜPERNOVANIN PATLAMASI



a

b

a) patlamadan önce; b) patlama sırasında: yürek içe doğru, dış kabuk ise dışarıya doğru patlıyor.

Süpernovalar adı verilen yıldızları doğuran bir tür patlamaların, bizimkine benzer bir galakside, otuz yılda bir meydana geldiği tahmin ediliyor. Bu patlamalardan bazıları tarih döneminde çıplak gözle görülebilmiştir. Böylece, Çin ve Japon yıllıklarının anlattıklarına göre, MS 1054 yılında, birkaç gün boyunca, Venüsten bile daha parlak bir yıldız gökyüzünde görülmüştür. O zaman kaydedilen konum işaretleri sayesinde, patlamanın fırlattığı gaz tabakasının şimdiki Yengeç bulutsusu ile aynı olduğu gösterilebilmiştir, bu bulut-

sunun boyutları, fırlatma hızlarının saniyede ikibin kilometreye ulaştığı sonucunu çıkarmaya olanak veriyor. Bu süpernova, görece bize yakındı, çünkü uzaklığı 420 ışık yılıdır. 1572'de Tycho Brahe, Cassiope burcunda bir süpernova gördü ki, bu, onun gökbilimci olma yazgısını belirtti. 1604'te Kepler başka bir süpernova buldu. Yeni teleskoplar sayesinde, başka galaksilerde yakalanan çok sayıda süpernova gözetlenebilmiştir.*

Süpernovanın patlayarak bu dış tabakalarını fırlatmasından sonra, yürek, uzayda artık yalnız başına kalan nötron yıldızından başka bir şey değildir. Nötronlar birbirleri ile temas haline geldikleri zaman yüreğin büzülmesi durur. Bu durumda yoğunluk, atom çekirdeklerininkinin mertebesindedir. Bu yoğunluk yıldızın merkezinde santimetre küp başına bir milyar ton olup, çevrede ise bundan ancak onbin kat daha küçük değerler gösterir. Bu tür cisimlerin varlığı, teorik olarak 1934'te Baade ve Zwicky tarafından önceden bildirilmiş ve Landau tarafından incelenmişti. Son yıllarda ileri götürülen araştırmaların gösterdiğine göre, merkez bölgesinde yıldız başlıca nötronlardan meydana geldiği halde, yüzeyde kristal biçiminde düzenlenmiş demir çekirdeklerinin yer aldıkları çok ince bir tabaka bulunur. Böyle bir yıldızın yarıçapı ancak on kilometrenin birkaç katıdır. Uzun bir süre boyunca nötron yıldızlarının varlığı ancak teorik bir olasılık gibi düşünülmüştü, ama son yıllarda pulsarların bulunması, onların varlığının gerçek olduğunu gösterdi.

Pulsarların öyküsü 1967'de başlar. O sırada, radyo kaynaklarının parlayıp sönmelerini inceleme amacıyla Cambridge Üniversitesinde metrik dalgalar *gamı*nda çalışan yeni bir radyo-teleskop hizmete girmişti. Amaç, yeni kuasarlar yaka-

* Süpernovaları, novalarla karıştırmamak gerekir. Bu sonunculara çok daha sık raslanır, ama bunlar on-yüzbin kat daha az enerji yayınlarlar. Unsold'un varsayımına göre novaların, yıldızın bir "deri hastalığı"ndan, yani yüzeysel bir parçacığın fırlatılmasını doğuran hidrodinamik bir kararsızlıktan ileri geldiği sanılıyor.

[ŞEKİL — 41]

YERKÜRENİN, BİR NÖTRON YILDIZININ VE BİR BEYAZ CÜCENİN KARŞILAŞTIRMALI BOYUTLARI

lamaktı. Kuasarlar sözkonusu olunca, genel olarak, kaynağın doğrultusu, Güneşin doğrultusuna yakın olduğu ölçüde daha belirgin bir parlayıp sönme karşısında kalınmayacağı umulur. Demek ki, toplanan işaretler içinde zayıf olmakla birlikte bunlardan bazılarının *çok belirgin ölçüde peryodiklik* gösterir gibi olduğu saptandı. Bu peryodiklik, parlayıp sönmeden gelen rasgele değişikliklerden farklı idi. Kaldı ki bunlar, tam karanlıkta, yani Güneş doğrultusundan çok çok uzak bir doğrultuda görülüyordu. Önce Yerküreden gelen parazitler karşısında bulunulduğu sanıldı. Kaynağın doğrultusunun yıldızlara göre hareketsiz olduğu gösterilince, bunun böyle olmadığı anlaşıldı. Bir süre, çok uzak bir gezegenden gelen, başka bir uygarlığın, bu işaretleri gönderdiği varsayımı üzerinde bile duruldu. Kaynağın bir gezegen gibi hareket edemediği, bunun başka örnekleri yakalandığı ve bunlardan bazılarının yerlerinin, süpernova kalıntılarının yerleriyle bir bağlantısı bulunduğu görülünce bu görüş de bir yana bırakıldı.

Böylece, radyo ile bulunan pulsarların yayınındaki ayırdedici peryodikliği, stroboskobik* yöntemler yardımıyla, görünür ışıkta da gözlendi. Onların o kadar büyük bir düzeni vardır ki, bunlar, yüz milyonda-bir saniye yanılma ile mükemmel gökbilimsel saatler sayılabilirler. İlk bulunan pulsarın peryodu 1,33730113 saniyedir. Saniyede 30 kez işaret veren bir pulsar, Yengeç bulutsusunun merkezinde bulundu. Bu kadar kısa bir peryotla birarada bulunan böyle bir düzenin kaynağını tasarlamak çok güçtür ve bir tanesi dışında, şimdiye kadar ileri sürülen bütün açıklamalar bir yana bırakılmıştır: peryodun bu değerleri bir nötron yıldızının kendi ekseni çevresindeki dönüşünden beklenen değerlerdir. Birbiriyle sayıca çakışan pek çok ölçüler, bu yorumu doğruluyor. Yengeç burcunda gözlenmiş, nabız gibi atan zayıf mavi

* Stroboskop: Çok hızlı ve peryodik olarak hareket eden cisimleri gözlemeye yarayan araç. —ç.

yıldızın, nötronlardan oluştuğunu söylemenin akla-uygun olduğu kabul edilmektedir!

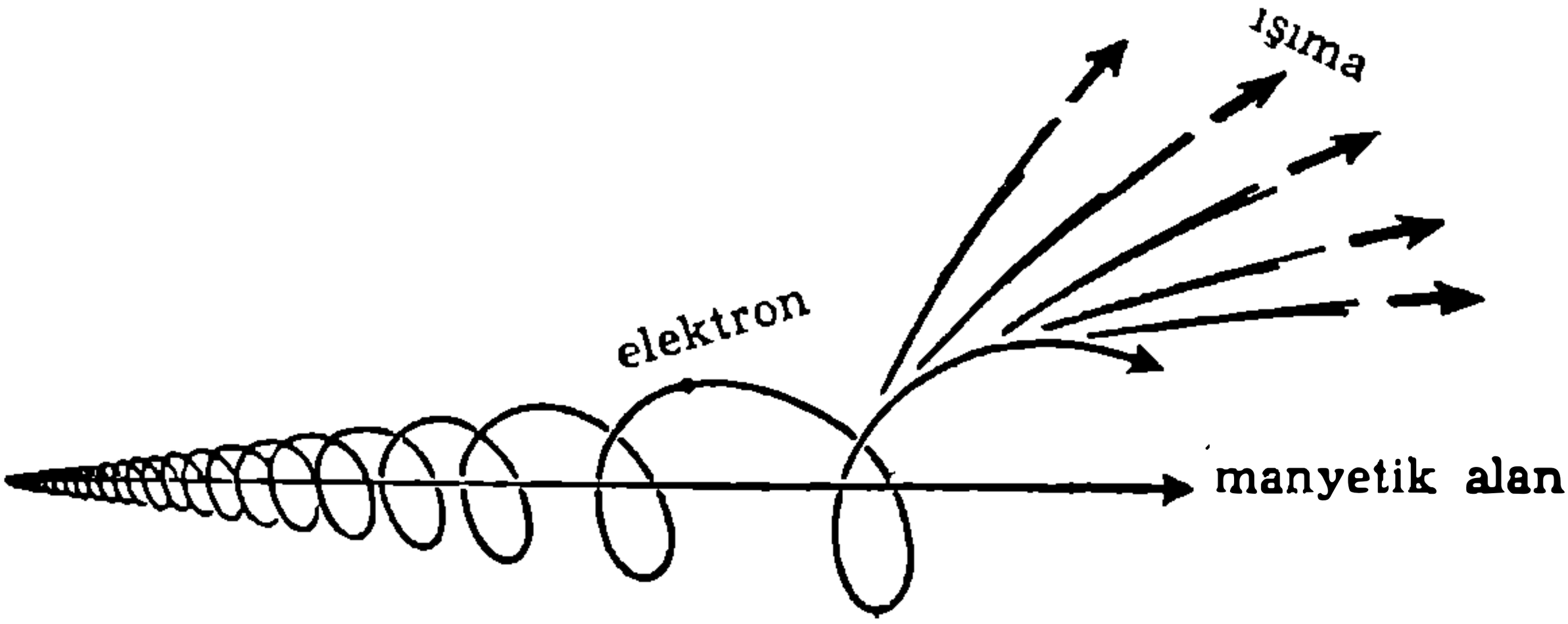
Şimdiye kadar gözlenen bütün pulsarlar, görece bize yakındırlar ve on-yüz ışık yılı olan uzaklıkları, bize en parlak görünen gök yıldızlarınınkilere yakındır. Pulsarların peryodunun zamanla arttığı gösterilebilmiştir (Yengeç pulsarı için günde, saniyenin 38 milyonda-biri). Bunun dönüş hareketindeki bir yavaşlamadan ileri geldiği düşünülüyor. Bu yavaşlama da elektromanyetik parçacıkların ve ışımanın yayınına bağlıdır. Pulsarın gözlenen ışımasının temelini oluşturan mekanizma henüz tam olarak bilinmiyor. Kuşkusuz burada, yıldızın dönen manyetik alanında tutulan parçacıkların ışıma yayını yapması sözkonusudur. Herhalde on milyon yıl kadar sonra işaretlerin kesildiği sanılıyor. Bu ise, uzayda gördüğümüz pulsarlardan çok daha fazla sayıda nötron yıldızının bulunabilmesi demektir. Bunlardan bazılarının bizim yakın komşularımız arasında yeralması, hiç de olmayacak bir şey değildir.

Kozmik ışınların kaynağını pulsarlarda arayan bir görüş ileri sürülmüştür. Şimdi bu soruyu kısaca tartışacağız.

Yıldızların, tıpkı Yerküreninkine benzer bir manyetik alanı olduğu biliniyor. Yıldızlardaki bu alan Güneşin faaliyeti ve lekelerin gelişmesinde önemli bir rol oynar. Bir yıldız, nötron yıldızı haline geçmek üzere büzüldüğü zaman, basit fiziksel kanıtlar, onun, manyetik akısını koruduğunu göstermektedir. Bu akı, hem manyetik alanla, hem de yıldızın yüzeyi ile orantılıdır. Bir nötron yıldızının yüzeyi, olağan bir yıldızınkinden ölçülemeyecek kadar küçük olduğundan, bu durum yıldızda 10^{12}'den 10^{13} gauss'a kadar değişen çok büyük manyetik alanların bulunması sonucunu doğurur (çok kısa süreler içinde bile, laboratuvarda meydana getirilen manyetik alanlar ancak bir milyon gauss'a ulaşır). Yıldız ile birlikte dönen böyle bir manyetik alan, bir çekirdek ve elektron plazmasını pekâlâ kendisi ile birlikte sürükleyebi-

lir ve onları, çok büyük enerjiler verecek kadar hızlandırabilir. Olgularla sayıca uygunluğu oldukça doyurucu olan gözalıcı bir varsayıma göre, belki de burada kozmik ışınların kaynağını bulabilmek olanaklı olacaktır.

[ŞEKİL — 42]



Rölativist hızda (yüksek enerjili) bir elektron, manyetik bir alanda bulunursa, elektromanyetik ışıma yayarak, kuvvet çizgileri etrafında bir sarmal çizer. Bu mekanizma Yengeç bulutsusunun, optik ve radyo ışımasının ayırdedici özelliklerini iyice açıklar.

Bundan böyle, Yengeç bulutsusundan gelen radyo enerjisinin, bir manyetik alanda sarmal çizen yüksek enerjili elektronlar tarafından meydana getirildiği ortaya konmuştur. Buradan hareketle, bu elektronların kozmik ışımaya yardım edecek olan yüksek enerjili protonlar ve çekirdeklerle birarada bulunduklarını varsaymak için bir adım daha atmak yeterlidir. Şu anda başlıca sorun, doğruya çok yakın görünen bu mekanizmanın gerçekten işlediğini bilmek değildir. Önemli olan nokta, bu mekanizmanın, kozmik ışınların tek kaynağı olup olmadığını bilmektir. Burada da mekanizmaların birçok ayrıntılarını aydınlatmak gerekiyor.

Gördüğümüz gibi, bir yıldız yüreği yeter bir kütleye sahipse, bir nötron yıldızını doğurabilmektedir. Ama, bu, tek çıkış yolu değildir: yüreğin kütlesi Güneşinkinin 2-3 katından büyükse, olayların çok başka türlü gelişmesini de bekleyebi-

liriz. Bu kadar büyük yüreklerin gerçekten varoldukları bilinmemekle birlikte, bir yıldızın kaybolması için, teorik olarak, son bir açık kapı kalıyor. Burada kara delik sözkonusudur ve bundan, gelecek bir bölümde sözedeceğiz. Ama öğrendiklerimiz kimyasal elementlerin nasıl meydana geldiklerini şimdiden anlamamıza olanak sağlayabilir.

ELEMENTLERİN BAŞLANGICI

Yeryüzünde, kimyasal elementler büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Atmosferde oksijen ile azot, ama ayrıca karbon gazı, su buharı, helyum, yani karbon, hidrojen ve helyum atomları vardır. Okyanusların suyunda bulunan hidrojen daha da fazladır. Bu elementlerden başka, kayalarda silisyum, kalsiyum, potasyum, sodyum, magnezyum... vb. gibi berilyumdan uranyuma kadar değişik miktarlarda mümkün bütün elementler hatta en nadirleri bulunur. Başlıca deprem dalgalarının yayılma hızı ölçümlerine dayanarak, jeologlar, Yerkürenin içinin, daha çok demir ailesi metallerinden (demir, kobalt ve nikel) oluştuğunu sanıyorlar. Ayrıca bu atomların çeşitleri (sayıları 92'dir), yalnızca çekirdeklerinin elektrik yükünün farklılığından ileri gelir ki, bu yük, sonunda, kayaların, okyanusların ve yaşamın son nedenidir.

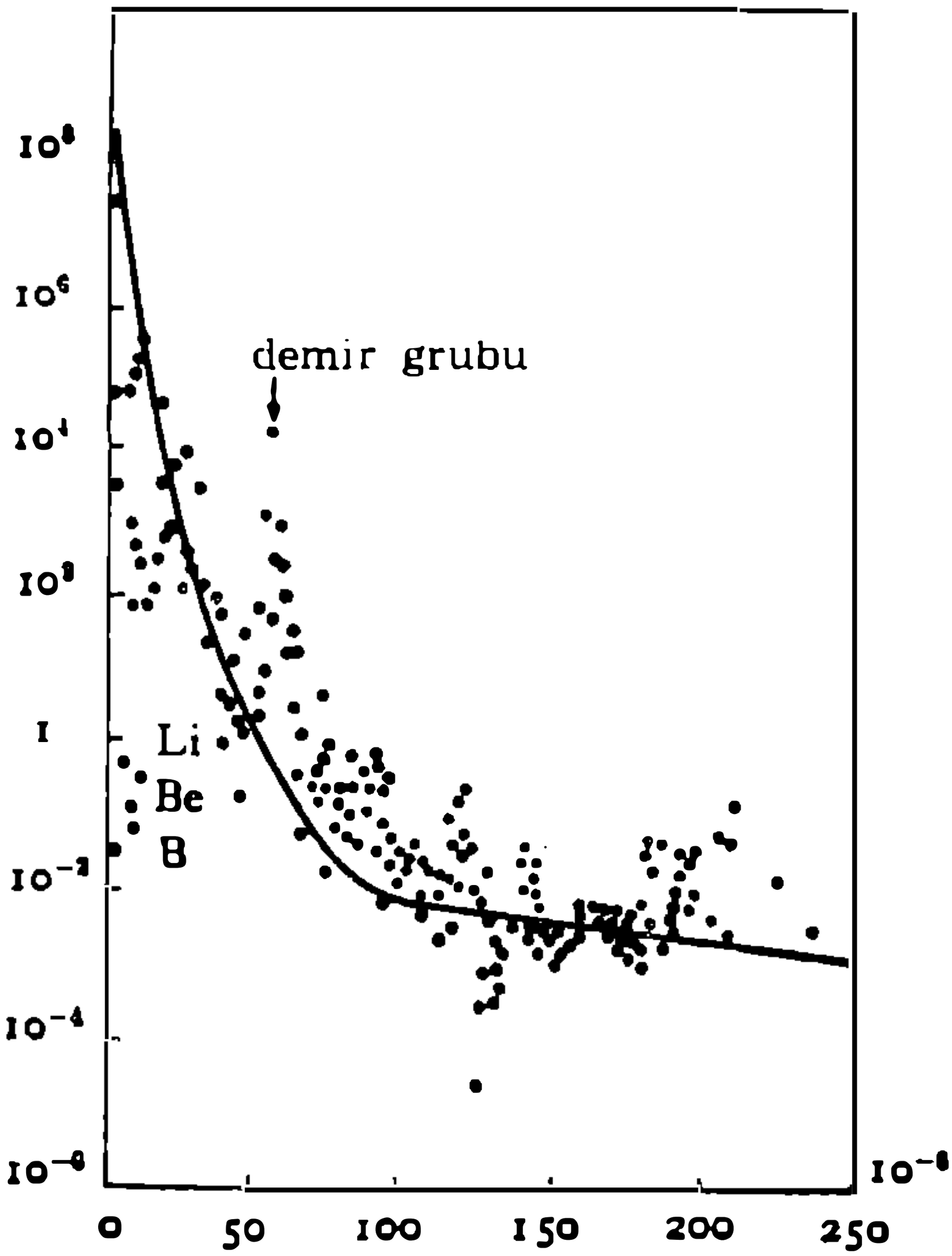
Galaksilerin, kendisinden fırlatarak oluşturduğu gaz, başlıca, hidrojenden meydana gelmiş olmalı idi ve öyle görünüyor ki, bu hidrojene sonradan az miktarda helyum gelip katılıyordu. Bu, bizim temel bir sorunu ortaya atmamıza neden oluyor. Bizi kuşatan ve oluşturan atomların çekirdekleri nereden geliyor?

Elizabeth Burbidge, Geoffrey Burbidge, William Fowler ve Fred Hoyle'un 1957'de gösterdikleri gibi, bu sorunun karşılığını, daha önceki bölümlerde anlatılan biçimde, yıldızların gelişmesinde bulabiliriz.

Sıcaklığı on-elli milyon derece olan yıldızlarda, hidrojen

[ŞEKİL — 43]

ÇEKİRDEKLERİN DOĞAL BOLLUĞU



Eğri, süpernovaların patlamalarındaki nötron süreçlerinin etkisini gösteriyor. Demire ait tepe noktası, yıldızların yüreğindeki çekirdek birleşmesinden geliyor. Hafif çekirdekler patlamada yokolurlar.

önce helyumu meydana getirir. Yüz-ikiyüzelli milyon derece sıcaklıklarda, helyum da C_{12}, O_{16} ve $Neon_{20}$ atomları dizisini doğurur. Sıcaklığın daha yüksek olduğu (bir milyar derece) daha gelişmiş yıldızlarda, helyum çekirdekleri ile, daha önce bileşimi tamamlanmış çekirdekler kaynaşarak kalsiyuma kadar giden ($A = 40$) ağır çekirdekler üretebilirler. Dört milyar derecede, demir grubundan çekirdekler (vanadyum, krom, manganez, demir, kobalt ve nikel) meydana gelir.

En yaygın çekirdeklerin oluşumu böylece açıklanır. Bunlar, en kararlı ve kaynaşma ile kolay üretilebilen çekirdeklerdir.*

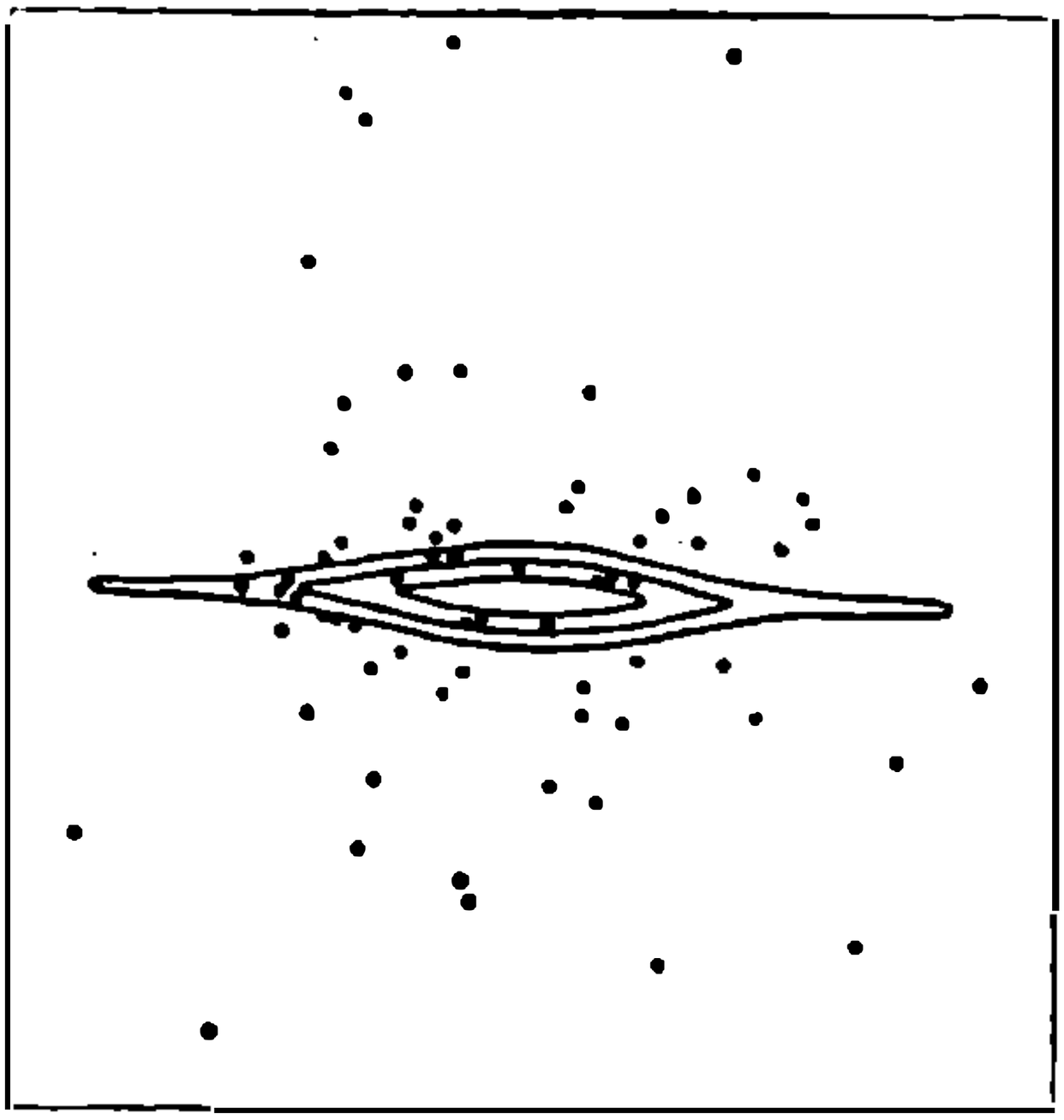
Bununla birlikte, gerek Yerküresinde ve gerekse göktaşlarında, daha küçük oranda, yukarda sözü edilen çekirdeklerden daha az bağlı olan bir miktar çekirdek gözlenmektedir. Burada ağır ya da hafif çekirdekler sözkonusu olabilir. Bunların başlangıcı öncekinden farklı olmak gerekir, çünkü yıldızlarda hüküm süren çok yüksek sıcaklıklarda, bu çekirdeklerin üretilmesi değil, belki de çekirdek çarpışmaları sırasında yokolmaları beklenebilir. Doğal halde, izotopları da sayarak, ikiyüze yakın kararlı çekirdeklerin bulunması olanaklı olduğundan, çekirdeklerin hangi koşullarda oluştuğunu gösterebilecek yeterli bilgiler vardır. Böylece, göreli olarak, az sayıdaki çekirdek türlerinin çoğunun çok kısa bir zaman süresi içinde oluşmaları gerektiğini gösterebiliriz. Bunlar, su verilen çelik gibi kararsız bir durumu, ancak anî bir daldırma sayesinde dondurarak varolabilirler. Bu türden farklı üç süreç işe karışmış olmalıdır. En yavaş olan birincisinde, nötronlar, çekirdek çarpışmalarının temposuna göre, yavaş bir ölçüde yakalanmışlardır ve demir ailesindeki çekirdeklerden başlayarak en ağır çekirdekleri üretmişlerdir: stronsiyum, altın, zirkonyum, baryum ve kurşun gibi. Nötronların çok daha hızlı yakalanmasına karşılık olan ikinci bir mekanizma, nötron bakımından zengin olan ağır elementleri meydana getirmiştir (uranyum, toryum, vb.). Ensonu, üçüncü bir mekanizmanın sonucu olarak, protonlar bazı çekirdekler tarafından yutulmuşlardır. Öyle görünüyor ki, süpernovaların patlaması sırasında, hızlı sürecin yer alabileceği fiziksel koşullar biraraya gelmişlerdir; buna karşılık ağır süreç kırmızı devlerde meydana gelmiş olacaktır. Böylece üretilen elementler arasında altının yer aldığı anımsanırsa,

* Bütün bu çekirdeklerde protonlarla nötronlar çift sayıdadır.

kırmızı devler, öteki özelliklerinden başka, demirin altın haline getirildiği, simyagerlerin devimsi fırınları gibi görünürler.

[ŞEKİL — 44]

GALAKSİMİZİN İKİ YILDIZ TOPLULUĞU



I. Topluluk: yoğunluk eğrileri ile gösteriliyor. Galaksi yassı bir disk gibi görünüyor. II. Topluluk: noktalarla gösterilen küresel yığınları gösteriyor. Bunlar, Galaksinin çevresinde küre biçiminde bir hale oluşturuyorlar.

Atom çekirdeklerinin oluşumunu açıklayan bu teorinin (bileştirme yolu ile çekirdek oluşumu) zorunlu sonucu, galaksinin kimyasal bir tarihidir. Başlangıçta galaksi, olsa olsa içinde belli bir miktar helyum bulunan saf hidrojenden meydana gelmiş, azçok küresel bir kütleden ibaret olmalı idi. Bu ilk maddeden başlayarak oniki milyar yıl önce oluşan ilk yıldızlara, ilk kuşak yıldızları denir. Bunların en hafifleri en uzun ömürlü olanlarıdır. Ve bugün hâlâ yaşamaktadırlar. Ayırdedici özellikleri, atmosferlerinde çok az miktarda metal bulunmasıdır. Bununla birlikte, bu yıldızların en büyük bölümü uzun zamandan beri, gelişmelerinin bütün aşamalarından geçmiştir ve sonunda bunlar süpernova olarak patlamakla birleştirmiş oldukları çekirdeklerini galaksi içinde tekrar yaymışlardır. Süpernovaların bu külü, yıldızlararası gaza, yani yıldızlar halinde toplanmamış olan ilk bulutun kalan kısmına karışmıştır. Bu süreçle gaz bulutları, zaman boyunca, ağır elementler bakımından gittikçe zenginleşmişlerdir. Böylece zenginleşen bu gazdan başlayarak

oluşan yıldızlar (ikinci kuşak yıldızları), hemen oluştuktan sonra çok sayıda çekirdek barındırırlar ve onların yapısı şimdi aşağıyukarı düzgün olarak görünmektedir. Gerçekten de ikinci kuşaktan olan galaksi diskindeki yıldızlarda, özellikle Güneşte, bunun gibi Yerkürede, Ayda ve göktaşlarında aynı çekirdek oranlarına raslanmaktadır.

Bu kimyasal tarih, galaksinin dinamik tarihine paralel olarak sürüp gitmiştir. Galaksi, henüz aşağıyukarı küre biçiminde iken ilk kuşak yıldızları oluşmuşlardır ve kalanlar yıldız bakımından az yoğun bir küresel hale meydana getirirler; burada metallerin miktarı "olağan"ın ancak yüzde-biridir (bu olağan, Güneşin atmosferindeki kimyasal türlerin miktarı ile belirlenir). Bu halenin yarıçapı, galaksinin kollarının yarıçapıdır. Bunu oluşturan ve tayf çözümünde kolayca tanınabilen yıldızlar, II. topluluğu meydana getirirler. Galaksinin en eski bileşenini bunlar içinde aramak gerekir.

İlk yıldızların oluşumundan sonra, galaksi gazı küresel biçimini kaybetti ve yassılarak çöktü. Burada da gravitasyonel bir çökme sözkonusu idi, ama bu kez gravitasyon, galaksiyi yekpare bir küresel kütle değil, yassı bir kurs haline getiriyordu. Bu davranışın nedeni Galaksinin dönüşü ile meydana gelen merkezkaç kuvvetten geliyor. Yassılaşmakla birlikte, gaz kütlesi süpernovalardan gelen ağır elementlerle zenginleşiyordu ve burada ikinci kuşak yıldızlar meydana geliyordu. Yine birinci topluluk yıldızları diye adlandırılan bu yıldızlar, kursta ve galaksinin sarmal kollarında yer alırlar. Şimdi başlıca kalıntıları sarmal kollarda bulunan yıldızlar arası maddede yıldızların oluşması hâlâ sürmektedir.

Böylece biz bir yıldızlar külünden gelmekteyiz.

KARA DELİKLER

Hemen hemen bütün yaşamı boyunca, bir yıldız, kendisini büzmek isteyen öz çekimine karşı koymak için enerji har-

car. Yıldızın yaşamında kendisini oluşturan gaz bulutunun yoğunlaşmasında olduğu gibi, çekirdek enerjisi kaynağının her tükenişinde, yıldızın yeniden büzülerek kendisinden tekrar enerji aldığı zamanlarda, bu etki birçok kez, önemli bir rol oynar. Bu, hafif bir yıldızın beyaz cüce haline geçişini, ya da daha ağır bir yıldızın yüreğinin nötron yıldızı aşamasına geçişini gösteren bir gravitasyon çöküntüsüdür. Birinci halde sistemi sonunda kararlı bir duruma getiren, elektronlar gazının basıncı, ikinci halde ise nötron gazının basıncıdır. Demek ki, nötronların birbiriyle temasında yaptıkları basınç, yıldızın kütlesi Güneşinkinin 2-3 katını aştığı zaman gravitasyona dayanacak kadar fazla değildir. Her türlü yanlış anlamayı önlemek için anımsatalım ki, bu kütle, başlangıçtaki yıldızın kütlesi değil, yüreğin kütlesidir ve bu yürek, bir süpernovanın patlaması ile dış tabakaların fırlatılmasından sonra geri kalan kısımdır. Gelişmelerinin sonunda, yürek kütlelerinin bu kadar büyük kalabileceği yıldızların gerçekten varolup olmadıkları bilinmiyor, ama bu akılalmaz bir şey değildir, çünkü kütlesi Güneşinkinin yüz katı mertebesinde faaliyet halinde olan yıldızlar biliyoruz. Öyleyse, böyle bir durum meydana geldiği zaman, süreç, bir nötron yıldızının oluşmasıyla son bulacak değildir. O zaman ne olacaktır?

Eğer basınç, çöküşe dayanacak kadar güçlü değilse, yıldızın yarıçapının yavaş yavaş küçülmesi beklenebilir. 1939'da Oppenheimer ve Snyder'in yaptıkları teorik hesapların önceden bildirdiği de, gerçekten budur. Ama yarıçap azaldıkça, yıldızın içinde ve yüzeyinde etkisini gösteren gravitasyon kuvveti gittikçe artar. O kadar ki, belli bir büzülme derecesinde, genel rölativitenin etkileri üstün gelir.

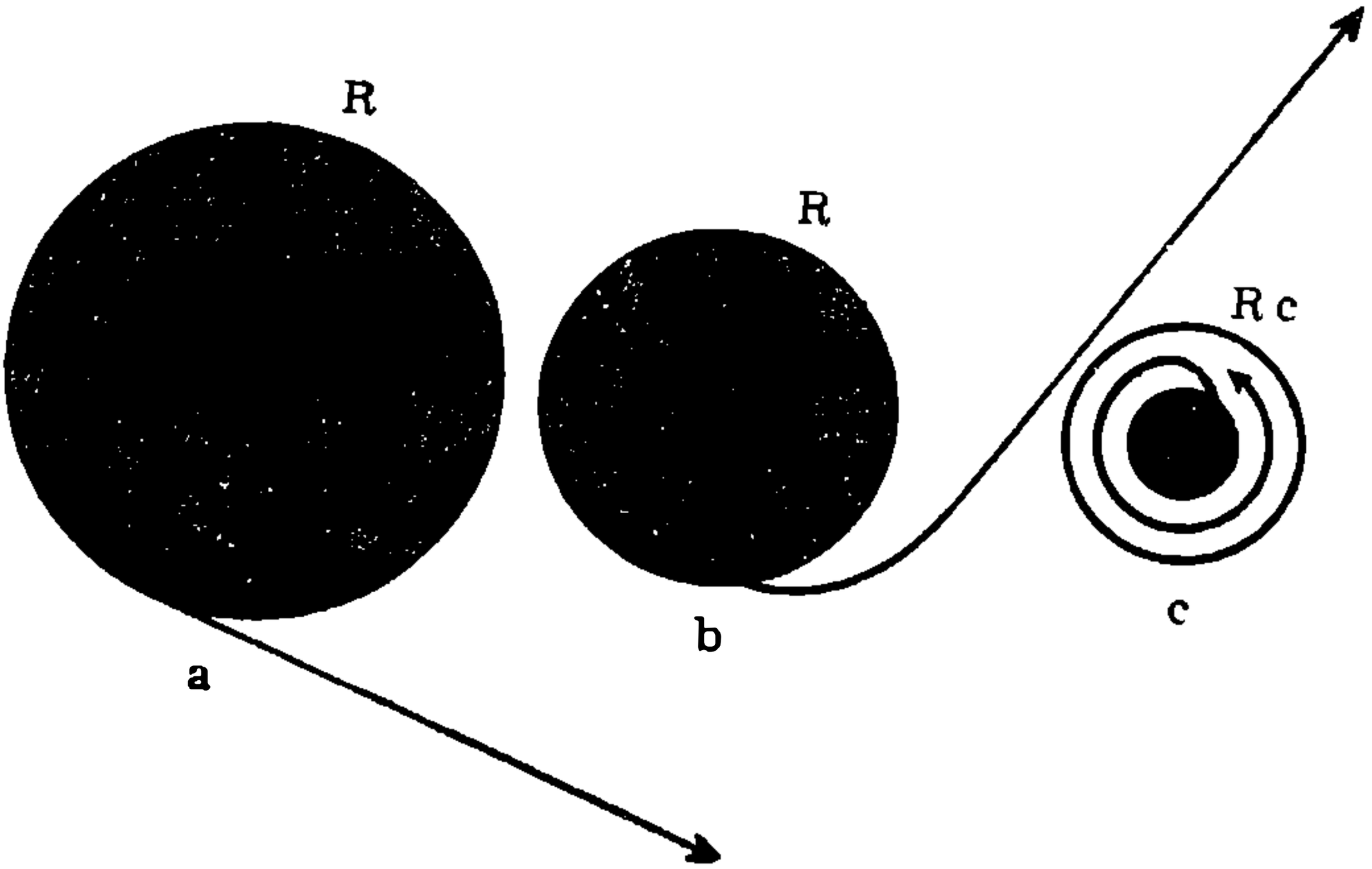
Newton teorisinin önceden bildirdikleri ile genel rölativitenin verdiği bilgiler arasındaki farkın ne olduğunu görmek için, yıldızın yüzeyindeki kaçış hızını düşünelim (bilindiği gibi, bir yıldızın yüzeyinden yukarıya doğru bir füze

fırlatıldığında kaçış hızı denilen bir hız vardır ve füze bu hızı aştıktan sonra yıldızın çekiminden kurtulabilir). Bu hız, yeryüzü için saniyede 11 kilometredir, yapay uyduların, yer-çekiminden kurtulabilmeleri için aşmaları gereken hız sınırı budur. Newton teorisi çerçevesinde, yüzeydeki çekimin şiddeti ne olursa olsun, kaçış hızı daima sonludur ve dışardan gelen cisimleri ya da yıldızdan gelen ışığı almak her zaman olanaklıdır.

Tersine, genel rölativite teorisinde, bir engel meydana getiren kritik bir yarıçap vardır; bu engel aşılınca, yıldızın gravitasyon özellikleri altüst olur. Yıldızın yarıçapı bu kritik değerin altına düşerse artık kaçış olamaz ve hiç bir parçacık yıldızdaı kaçıp kurtulamaz. Fotonlar, yani ışık ışımasını oluşturan parçacıkların kendileri de gravitasyona bağlı olduklarından, onlar da yakalanmışlardır, öyle ki, artık

[ŞEKİL — 45]

GRAVİTASYONEL ÇÖKÜŞ VE IŞIMA



a) Bir yıldızın R yarıçapı R_c yarıçapından çok büyüktür: yüzeyden çıkan ışıma doğru çizgi boyunca gider. b) Yarıçaplar birbirine yakındır, ama R daima, R_c'den daha büyüktür. Işık ışınlarında çok büyük bir gravitasyonel sapma görülür. c) R'nin R_c'den daha küçük olması hali. Bir kara delik meydana gelmiştir. Işıma artık dışarı kaçamaz.

yıldızdan dışarı doğru hiç bir ışıma kaçıp kurtulamaz. Güneşinkine eşit bir kütle için bu kritik yarıçap, aşağıyukarı 3 kilometredir ve yıldızın kütlesi ile orantılı olarak değişir.

Kritik yarıçapın altına çöken bir yıldız, *kara delik** adını alır. Bu demektir ki böyle bir cisme gönderilen hiç bir şey artık ondan kurtulup geri gelemez. Öyleyse bu, kapkaradır, çünkü hiç bir ışık yaymaz ve hiç bir ışığı yansıtmaz.

Çöken yıldızın yüzeyinde bulunan bir gözlemci düşünülürse, kritik yarıçapa geçişte onun gözüne çarpan hiç bir şey yoktur. Tersine, uzak bir gözlemcinin bakış noktasından ise altüstedici sonuçlar meydana gelir. Yıldızın çok çabuk söndüğü görülür, çünkü kendi fotonlarını tutar. Bununla birlikte, dış cisimler üzerinde bir gravitasyonel etki göstermekte devam eder. Gökbilimcilerin, kütlesi örneğin Güneşinkinin on katı olan böyle içe doğru patlayan bir yıldızın çevresinde dönen bir gezegen üzerinde bulunduklarını varsayalım. Bunlar saniyenin binde-birinden az bir zamanda "güneş"lerinin ışığının birdenbire onda-bire düştüğünü ve bu tempo ile kararmakta devam ederek hızla görünmez hale girdiğini gözleyeceklerdir. Bu bunalım geçince hayalî gökbilimcilerimiz artık güneşlerini bir daha hiç görmeyeceklerdir, ama onun daima varolduğunu bileceklerdir, çünkü gezegenleri Kepler yasalarına göre dönmesini sürdürdüğünden, odağında karanlık bir nokta bulunan gezegen yörüngeleri olduğu gibi kalacaktır.

Doğada, kara deliklerin gerçekten bulunup bulunmadığını nasıl bilebiliriz? Daha nötron yıldızları konusunda, teorik olarak varlığı önceden kestirilmiş olan bir gök cismini kabul edebilmek için pulsarların peryodik ışıması gibi, hemen hemen hiç beklenmedik harika bir görüngü gerekmişti. Kara delikler konusunda böyle bir mucize hiç de beklenemez, çünkü bunlar ışımazlar (gerçi dönüş halindeki kara de-

* Buna, aynı zamanda, tıkanmış yıldız da denir.

likler üzerinde yapılan son teorik araştırmalar, böyle bir durumda, görüngülerin daha karmaşık olabileceklerini göstermiştir). Bir kara delik, asıl varlığını, kendini çevreleyen cisimler üzerinde gösterebileceği gravitasyonel çekim ile belli edecektir. Karaniık bir merkez etrafında dönen bir yıldızın gezegen hareketinin açığa çıkarılması, oldukça elverişli koşullar içersinde, bir kara deliğin varlığını ileri sürmemize olanak sağlayabilecektir. İlk kuşak yıldızlarının sık sık büyük bir kütleleri olsaydı, ki bunun böyle olduğunu düşünmek için nedenler vardır, kara deliklerin pek yaygın bir şekilde bulunabilmeleri bile olanaklı olabilecekti. Bu da galaksilerdeki maddenin yoğunluğu üzerinde yapılabilen değerlendirmeleri etkileyecekti.* Tam oluştuğu anda, bir kara delik şans eseri olarak, çekim dalgaları ile yakalanabilir. Gerçekten de, büzülme sırasında bir cismin, elektromanyetik dalgalara benzeyen ve yayılışları bütün çevredeki uzayda ağırlığın bir değişimi ile gözlenebilen dalgalar yayınlar. Gravitasyon dalgalarını yakalamaya yarayan deneyler, önce Birleşik Devletler'de ve şimdi biraz, dünyanın her yanında yapılmaktadır ve öyle görünüyor ki bu deneylerden çok şeyler bekleyebiliriz. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar henüz sadece bir başlangıç sayılabilir.

Böylece yıldızlar mezarlığında üç sıra kabir yer almaktadır: beyaz cücelerin, nötron yıldızlarının ve kara deliklerin mezarları. Ama sonuncuların içersinde, ölüler bulunup bulunmadığını henüz bilmiyoruz.

GEZEGEN SİSTEMLERİNİN BAŞLANGICI

Güneş sisteminin başlangıcı ve gezegenlerin oluşması nasıl açıklanabilir?

* Bir kara delik, olağan bir yıldızla bağlı bir çift meydana getiriyorsa, atmosferinin bir bölümünü koparabilir. Kara delik üzerine düşen bu atmosfer, X ışınları yaymaya elverişli hızlara ulaşabilir. Bu, bir kara deliğin varoluşunu söyleyebilmemize olanak sağlayabilecek en elverişli koşullardan biridir.

Her şeyden önce bazı olguları anımsamak gerekecektir: hepsi Güneşin çevresinde aynı yönde ve ekliptik düzlem adı verilen, aynı bir düzlem içinde dönen dokuz gezegen biliyoruz. Kaldı ki, Güneşin çevresinde dolanan yalnız bu cisimler değildir; asteroidleri ve burada hesaba katmayacağımız kuyruklu yıldızları da bunlara ekleyebiliriz.

Gezegenlerin bazılarının kütleleri küçük ve yoğunlukları büyüktür (her santimetre küp kütle aşağıyukarı 5 gram). Bunlar *topraksı* denilen gezegenler sınıfını oluştururlar: Merkür, Venüs, Yerküre, Mars, Uranüs, Neptün ve Plüton. Jüpiter ile Satürn çok farklı görünüyorlar: kütleleri çok daha büyüktür ve yoğunlukları ise açıkça, daha azdır (santimetre küp başına, 1 gram dolayında). Bundan başka bunların atmosferlerinde çok miktarda hidrojen vardır, oysa ki, topraksı gezegenlerin durumu böyle değildir.

Bu gezegenlerin nereden gelmiş olabileceklerini anlamak için, Güneşin gençliğine dönmek uygun olacaktır. Gördüğümüz gibi Güneşin, başlıca hidrojenden oluşan bir gaz kütlesinin büzülmesi sırasında doğmuş olması gerekiyordu. Tayf çözümlenmesi gösteriyor ki, Güneşin atmosferi ile Jüpiter ve Satürnün atmosferlerinin kimyasal yapısı, esasında aynıdır. Öte yandan bu yapı, Güneşte ölçülemeyecek kadar yaygın olan hidrojen ve helyum bir yana bırakılırsa, Yerkürenin ve göktaşlarınkinin aynıdır.

Güneş sistemi bizim için, açıklanmasında, özellikle ince eleyip sık dokumamızı gerektiren biricik örnektir. Bu yüzden Güneşten başka yıldızların şimdiki özelliklerini inceleyerek, bizim uzay bölgemizde yeralabilen olayları daha iyi anlayacağımızı umabiliriz. Genç yıldızlar yaşlıları ile karşılaştırılırsa bize pek çok yeni bilgiler veren farklar ile karşılaşırız. Genç yıldızların tayflarında çok seyrek raslanan şiddette yayın çizgileri bulunur. Bu çizgiler, yıldızların atmosferinde meydana geldiklerinden, bu nokta yıldızlarda çok önemli bir gaz zarfının bulunmasını gerektirir. Bu yıl-

dızlar aynı zamanda kendi eksenleri çevresinde büyük bir hızla dönerler. Çevrede, saniyede 50-500 kilometreyi bulan bu hız, tayflar üzerinde görünür. Tersine, eski yıldızların atmosferleri azdır (bunlar tayflarında hafif yayın çizgileri gösterirler); buna karşılık olan hız, saniyede 5 kilometreden küçük olduğundan, eksenleri çevresindeki dönüşleri yavaştır. Bu, bir yıldızın gelişmesi boyunca atmosferini tükettiği ve dönüşünün ağırlaştığını düşünmemize yolaçar.

Dönüşün ağırlaşması, son derece değerli bir işarettir. Gerçekten de mekanikte açısal momentumun sakınımı denilen temel bir yasa vardır. Buna göre, dönüş hızına bağlı bir büyüklük, bir yıldız gibi bağımsız bir sistemde ne olursa olsun değişmez. Bu sakınım yasasının neyi içerdiğini göstermek için, örneğin bir patinajcının kendi ekseni etrafında döndüğünde, hareketlerini anımsayabiliriz: dönüşüne başlayabilmek için kollarını açarak dönüş hızını alır, sonra kollarını indirerek bu dönüşü hızlandırır. Yıldızlarda meydana gelen şeyin, bu olayın tersi olduğu ve yavaşlamanın, atmosferin dışa püskürtülmesinden ileri geldiği düşünülebilir. Bu püskürtülme bir bakıma patinaj yapanların kollarını açmaları ile yapılana benzer bir iş görür.

Bir yıldızın gaz zarfının fırlatılması mekanizmasının, bir manyetik alanın varlığına sıkıca bağlı olduğu sanılmaktadır. Ayrıca birçok öteki yıldızlar gibi Güneşin de gerçekten böyle bir alanla kuşatıldığı biliniyor. Manyetik alanın ne biçimde etki gösterebileceği, manyetohidrodinamik gibi barbar bir ad taşıyan ve genel olarak iyonlaşmış madde ile manyetik alanların karşılıklı etkisini inceleyen fiziğin bir dalı tarafından önceden bildirilmektedir. Genç yıldız, dönüşünde, manyetik alanını birlikte sürükler. Yüksek sıcaklık yüzünden iyonlaşmış olan atmosferi, merkezkaç kuvvetin etkisi altında, kuvvet alanının çizgileri boyunca kaçmak ister. Böylece bu atmosfer gittikçe yıldızlardan uzaklara sürüklenmiş olur ve yıldızın ekvatorunu kuşatan bir disk halinde yayılır.

Demek ki, kuvvet çizgilerinin, iyonlaşmış maddeye sıkıca bağlı kalmaları gerektiği görülür, öyle ki, bu madde uzaklaşırken gittikçe artan bir hızla döner, bu sırada ise yıldızın dönüş hareketi açısal momentumun sakınımı yüzünden yavaşlar. Bunun sonucu olarak, yıldızdan gelen bir ekliptik düzlem boyunca yayılan çok yassı bir madde kursu meydana gelir.

Soğuyarak bu madde nötr hale döner (iyonlaşmış maddeden başlayarak atomlar yeniden oluşurlar) ve toz ile gaz halinde, yeniden birleşir. Kuşkusuz onun kimyasal yapısı kendisinden çıktığı yıldızın atmosferinin yapısıdır.

Bu maddenin, gezegenler biçiminde nasıl yeniden biraraya geldiği oldukça karmaşık görünüyor ve tam olarak anlaşılamamıştır. Gazın çevri hareketlerinin, tozların bloklar haline gelerek hızlanmasının ve bu blokların çarpışmalarının burada karşılıklı olarak oynadıkları rol henüz kesin bir şekilde aydınlanmış değildir.

Gezegenlerin, hatta ikinci derecede yıldızların durumunun, Evrende sık rastlandığını düşündürecek nedenler vardır (daha büyük olsaydılar Jüpiter ile Satürn bile ikinci derecede yıldızlar olacaklardı). Güneşe en yakın yıldızlardan biri olan Barnard yıldızının, kütlesi Jüpiterinkinin mertebesinde olan karanlık bir uydusu bulunduğu, son zamanlarda ortaya konmuştur. Öte yandan, çift ya da ikiden fazla yıldız sistemlerinin çok yaygın oldukları biliniyor.

Daha yukarda taslağı çizilen oluşum olasılıkla Güneş sisteminin başlangıcında yer almakla birlikte, aynı sonuca götürebilecek olan başka bir mekanizma da yok değildir. Aynı bir ilk bulutun, çok sayıda yıldızları meydana getirmesi sık sık görülen bir olgudur, bu yıldızlar da kümeler halinde toplanmış olarak görünürler. Bu yıldızların sık sık birbirlerine nispeten yakın geçecekleri, hesapla kolayca gösterilebilir. Tıpkı yeryüzü ile Ayda olduğu gibi, ama büsbütün başka ölçüde. Böyle iki yıldızın birbirleri üzerine uy-

guladıkları gravitasyon kuvvetleri, gel-git hareketleri meydana getirir. Bu gel-gitler yıldızların birinden ya da ötekinden oldukça önemli miktarlarda madde kopartacak kadar şiddetli olabilirler. Bu farklı olasılıklar karşısında, Güneş sisteminin oluşumunda gerçekten rol oynamış olan mekanizmanın anlaşılması, ancak, gezegenlerin özelliklerini ayrıntılarıyla hesaba katan çok ileri bir incelemenin yapılması ile olanaklı olur. Her ne olursa olsun, bizim, burada, neyi seçeceğimizi bilememek durumunda bulunduğumuz açıktır.

Güneş sisteminin oluşumunu açıklamak için ileri sürülmüş olan farklı teoriler arasında bir tanesini, hepsinden daha verimli görülenini, gezegencikler teorisini seçeceğiz.

Önce, çekirdek fiziğinin, Güneş sisteminin tarihi hakkında bize ne öğrettiğini görelim.

Yeryüzünde bulunan, berilyum, lityum, ya da bor çekirdekleri gibi bazı hafif çekirdekler, çekirdek tepkileşmelerinin özellikleri yüzünden, ne yıldızlarda, ne de süpernovaların patlamasında pratik olarak meydana getirilmiş olamazlar. Bu, başka yönlerden de doğrulanmış görünüyor, çünkü bu elementlerin, yıldızların atmosferlerinde, tayf çözümlemesi ile bulunan oranları çok düşüktür. Öyleyse, bu elementlere yeryüzünde ve göktaşlarında, neden Güneştekinden daha fazla raslanmaktadır?

Gezegen maddesinin yavaş yavaş oluştuğunu, önce oldukça küçük cisimler, çapı yüz kilometre kadar olan *gezegencikler* meydana getirmek üzere birleştiklerini kabul ederek bu olguları açıklamak olanaklı görünüyor. Ufak gezegenlerin enerjili cisimcikler (kozmik ışınlar) tarafından bombalanması o zaman hafif çekirdekleri meydana getirmiş olacaktır. Bunun sonucu olan ve çekirdek parçalanması denilen çekirdek tepkimeleri, bir ağır çekirdeğin dağılmasından ibarettir ve bu dağılmanın parçaları arasında daha hafif çekirdekler yer alır. Bunların içersinde oldukça bol miktarda lityum, berilyum ve bor bulunur.

Madde, önce gezegencikler, yani başlangıçta soğuk olan ve boyu birkaç yüz kilometre tahmin edilen cisimler halinde toplanmışsa, topraksı gezegenlerin oluşumu şu şekilde meydana gelebilmiştir. Radyoaktivite, çarpışmalar ve yüzeylerine cisimlerin düşmesinin etkisiyle gezegencikler ısınmış ve böylece ikibin derece sıcaklığa erişerek erimiş olacaklardır. Etkisi altında kaldıkları, karşılıklı birçok çarpışmalar onları ya asteroidler şeklinde parçalamış ya da gezegenler halinde birleştirmiş olmalıdır. Öyleyse bu boyca büyüme, en iri gezegenciklerin yakınlarından geçen daha küçük gezegencikleri kendilerine katmaları ile gerçekleşir. Bu ise gezegencikler Güneş çevresinde dönerken, bir raslantı sonucu birbirlerine yaklaştıklarında bir yörüngeden ötekine etkiyen gravitasyon kuvvetleri nedeniyle meydana gelir.

Gezegencikler varsayımının lehinde ileri sürülmüş olan kanıtlar arasında mekaniğe dayananlardan başka, şimdi gördüğümüz gibi, çekirdek fiziği verilerinden yararlananlar da vardır. Başkaları da kimyaya başvururlar. Gerçekten de Yerküre, başlangıçta, ilk maddesinde bulunması gereken uçucu elementlerden pek çoğunu, özellikle, sıcak oldukları için gezegenciklerden kaçmış oldukları düşünülen en hafif elemanlarla hidrojen bileşimlerini, böylece kaybetmiş olmalıdır.

Uranusun, etrafında döndüğü eksenin doğrultusundan saptırılmasını, oldukça iri bir gezegencik ile çarpışmasına bağlamak isteyenler de olmuştur. (Öteki gezegenlerin tersine Uranusun dönme ekseni, ekliptik düzleme dikey olmayıp, ters olarak bu düzlemin içine girecek şekilde 90 derece dönmüştür.)

Bu varsayımda *topraksı* gezegenlerle, onların gelecekteki uyduları, görece karmaşık bir olaylar zinciri sonucu meydana gelmiş olacaklardır:

1° Güneş, ekliptik düzlemi boyunca bir kurs meydana getiren maddeyi fırlatır;

2° bu madde, çevredeki boşlukta soğur. Çok düşük sıcak-

lık derecelerine varır ve gazda tozlar meydana gelir;

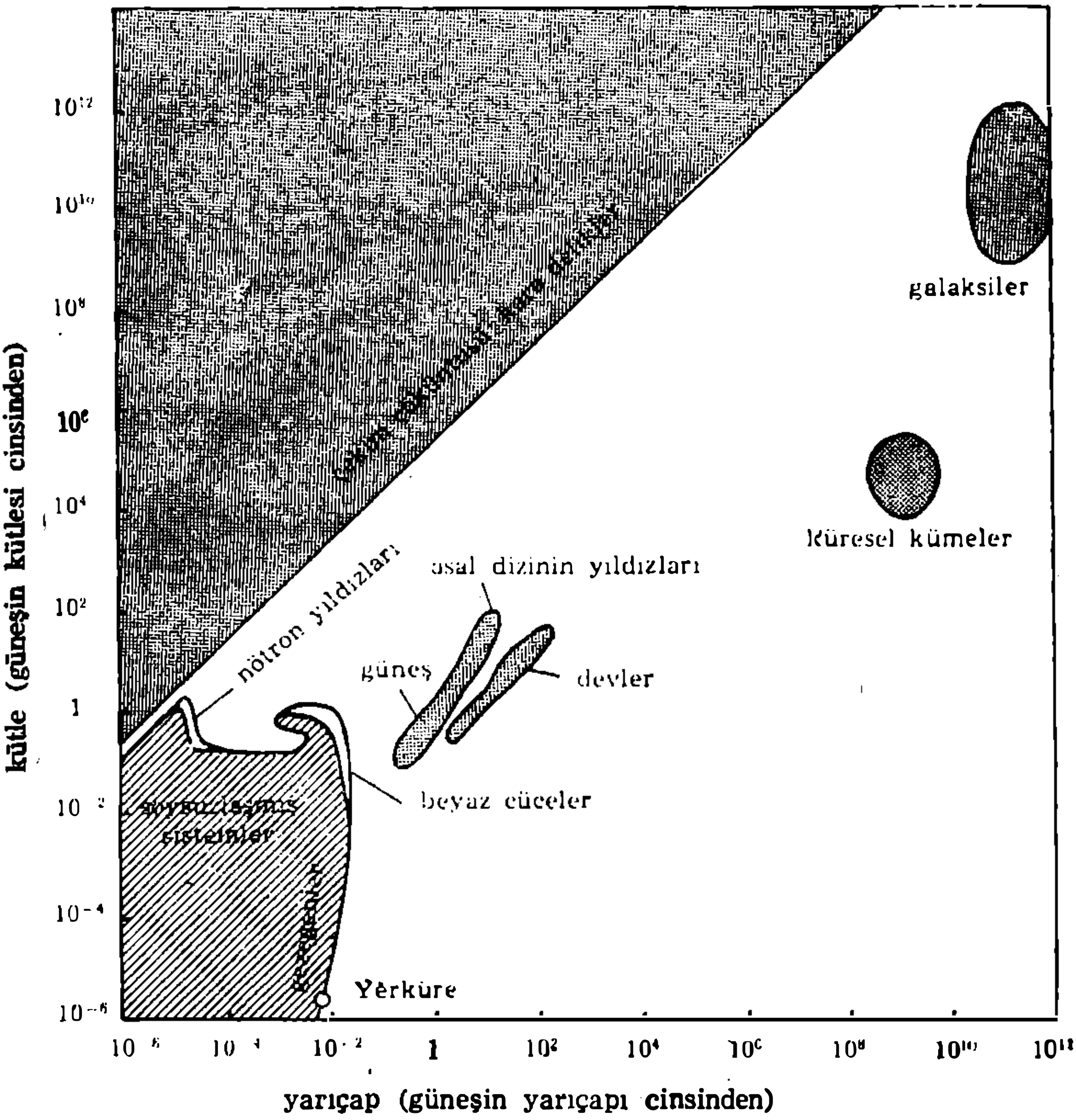
3° tozlar gezegencikler halinde birleşirler;

4° bu gezegenciklerin bir bölümü erir;

5° gezegencikler, gezegenler ya da asteroidler halinde toplanırlar.

[ŞEKİL — 46]

GÖK CİSİMLERİNİN KÜTLE VE YARIÇAPI



Böyle bir tarihin karmaşık oluşu, bunun ayrıntılı bir doğrulanmasını güçleştirir. Ancak göktaşlarının ve şimdi Ay

taşlarının kılı kırk yaran bir incelenmesi ve onların kimyasal ve kristalografik bileşimlerinin ayrıntılı bir karşılaştırılması iledir ki, bu olaylar zincirini yavaş yavaş aydınlatmayı başarabileceğimizi umabiliriz. Burada da ancak görünüşte birbirlerinden en uzak verilerin sabırlı ve sistemli bir karşılaştırılması ile, geçmiş gerçeği yeniden kurmayı başarabiliriz.

Öyle görünüyor ki iki dev gezegen, Jüpiter ile Satürn, Güneşin saçtığı disk gazlarının gravitasyonel yoğunlaşması sonucu, doğrudan doğruya meydana gelmişlerdir. Bu yoğunlaşma görüngüsünün kaynağı, yıldızların oluşumunda yer aldığı gibi, yoğunluğun rasgele bir aşırılığı olsa gerektir; bu fazlalık da akışkanın hareketlerinden ileri gelmiştir. Jüpiter ile Satürnün kimyasal bileşimi ve özellikle hidrojen bakımından zenginlikleri böylece açıklanmış olacaktır. Bu mekanizmanın, öteki gezegenlerin ve uydularınkinden ne kadar daha basit olduğu kaydedilmeye değer.

Ayrıca, Yerkürenin tarihine dönülecek olursa, bunun, başlıca Güneşin saçtığı tozlardan ve gazlardan gelen gezegenciklerin toplanması ile, önce meydana gelmiş olacağını görmüştük. Bu gezegencikler, ilk hidrojenin bir parçasını, ancak, bileşik halde saklamışlardır (metan, amonyak, su); öyle ki, şimdiki Yerkürenin 499/500'ünün, dağılan Güneş çevresinin bir bölümünün kalıntısını temsil ettiği söylenebilir. Gezegencikler eridikleri zaman, hidrojenin bileşikleri uçucu olduklarından, bunların çoğu uzayda kaybolurlar; çünkü gezegencikler bunları tutmaya yetecek kadar bir çekim gücüne sahip değildirler.

Gezegenciklerin kütlelerinin büyümeleri ile serbest kalan radyoaktivite ve gravitasyon enerjisi, Yerkürenin toptan kaynaşması sonucunu doğurdu. Bu kaynaşmanın sonucu da, kimyasal elementleri tortularından ayırmak olmuştur. Çekirdek oluşumu teorisine göre, ayrıca bol olması gereken demir ile nikel merkeze doğru yayılmışlardır. Şimdi öyle sanılıyor ki, kütlesi Yerkürenkinin aşağıyukarı üçte-biri olan ve

çapı da Yerküre yarıçapının yarısına eşit olan demir-nikelden bir çekirdek, Yerkürenin merkezindedir. Deprem dalgalarının yayılmasını inceleyenler de bu görüşü kuvvetlendiriyorlar. Yerküre kütlesinin öteki üçte-ikisi demir ve magnezyum silikatı bakımından zengin bir kılıf içersindedir.

Yerkürenin erimesi sırasında içerdeki uçucu elementler serbest kaldılar; böylece su, okyanusları (sanki Yerkürenin "teri") meydana getirdi ve yine hidrojen, metan, amonyak ve su buharı bakımından zengin bir ilk atmosfer oluştu. Bileşimi tamamıyla farklı olan şimdiki atmosferin nasıl meydana geldiğini ilerde göreceğiz.

İzotopların kayalarda şimdiki dağılışını (bu dağılış zaman boyunca, bazı radyoaktif çekirdeklerin parçalanmasından ötürü değişmiş olmalıdır) inceleyerek, Yerkürenin yaşını oldukça büyük bir kesinlikle dörtbuçuk milyar yıl ve en eski kayalarınkini (karaların başlangıcını) üçbuçuk milyar yıl olarak göstermek mümkündür.

YAŞAMIN BAŞLANGICI VE YERYÜZÜ ATMOSFERİ

Yaşamın başlangıcını açıklamak, galiba, şimdiye kadar raslanılanlardan çok daha güç bir sorundur. Bunu tartışmak için gerekli yetkimiz olsa bile, bu sorun bizi büsbütün farklı bir bilim alanına girmeye zorlayacaktır. Bu yüzden bazı basit noktalara değinmekle yetineceğiz.

Yaşamı önce molekül ölçüsünde ele alırsak, canlı varlıkların yapısına giren ayırdedici maddenin proteinler olduğunu görürüz. Bunlar amino asitler denilen çok büyük sayıda karmaşık elemanlar birimlerin biraraya gelmesi ile oluşan yapılardır. Toplam olarak, farklı yirmi çeşit amino asit vardır ve her protein, birbirine belirli bir sırada iyice bağlanmış olan yüz-beşyüz kadar asidi kapsar. Yaşamın başlangıcı sorunu, açıkça iki aşamada karşımıza çıkıyor: canlı maddeyi oluşturanların başlangıcı nedir, ve tam anlamı ile yaşa-

mın, yani düzenleme ve çoğalma gücünün kaynağı nedir?

Amerikalı Melvin Calvin'in yaptığı deneyler, canlı maddenin nasıl meydana gelebildiği hakkında bize bir ipucu veriyor. Hidrojen, amonyak, metan ve su buharı kapsayan bir gaz karışımı arasından elektrik akımları geçirince, Calvin, çok sayıda organik moleküllerin, özellikle amino asitlerin meydana geldiğini gördü. Bu deneylerde kullanılan gaz karışımı, Yeryüzünün ilk atmosferinin bileşiminin aynı olduğundan, aynı nedenler aynı sonuçlara götürdüğüne göre, yaşamın ilk maddesinin, fırtına özelliğindeki şiddetli elektrik akımları sayesinde meydana gelebildiği düşünülüyor. Yüzlerce milyon, hatta bir milyardan fazla yıl boyunca bu moleküller, böylece, bol bol üretilmiş ve büyük bir olasılıkla göllerin ya da okyanusların dibinde birikmiş olabileceklerdir.

Şimdi yaşamın, böyle bir çevrenin ortasında, gerçekten nasıl doğabileceğini bilmek kalıyor. Birçok sorunlar arasında, yaşamın böyle koşullar içinde görünmesi olasılığının büyük olup olmadığını bilmeyi çok isterdik. Gerçekten de canlı varlıkların yaşadıkları dünyaların birden fazla olup olmadığı sorunu, bu olasılığın değerlendirilmesine bağlıdır: bu olasılık büyükse, galakside bulunan topraksı gezegenlerin sayısı milyarları bulduğundan, yaşamın son derece yaygın bir görüngü olması gerekir.

Biyoloji bilginlerinin bu konudaki düşünceleri çok farklı görünüyor. Jacques Monod, yaşamın bir tek defa ve Yeryüzünün bir tek yerinde meydana geldiği görüşünü açıklamak istemiştir ki, yaşam, böylece, olasılığı son derecede küçük olan bir görüngü olacaktır. İleri sürdüğü kanıt şu olguya dayanıyor: bütün canlı türlerde, molekülleri polarize bir ışığın polarizasyon düzlemini sola doğru çeviren bir tek tip şeker olmasına karşılık, laboratuvar deneyleri bu molekülleri ve polarizasyonu karşıt yönde döndüren benzerlerini eşit miktarlarda üretirler. Bundan, Monod ile birlikte, günün birinde bir yerde, ilk organizma olması gereken bile-

şimin, içine giren bir ilk şeker molekülünün sonradan yaşama katılacak olan bütün moleküllerin biricik bir seçimini belirttiği sonucunu çıkarmak gerekiyor mu? Doğal seçmenin, bu aynı sonuca varabileceğini göstermeye yarayan ve ağırlığı olan karşıt kanıtlar ileri sürüldü. Böylece, bir sonuca varmak için zaman henüz erken görünüyor. (Bununla birlikte, C. Eigen'e borçlu olduğumuz düzenlemenin başlangıcına ait yeni bir teorinin oldukça büyük bir olasılığı olduğunu ve yaşamın Yeryüzünde bir tek kaynağı bulunduğunu uzlaştırdığına işaret edelim.)

Yaşamın, zaman içindeki başlangıcını, çok yaklaşık olarak gösterebiliriz. Gerçekten Ontario'nun bazı kayalarında, *fucus* ve mikroskopik *alg*lerin fosilleri, yani gelişmiş canlı şekilleri görülmektedir. Bu kayalar bir milyar altıyüz milyon yıllık olduklarından, yaşamın açıkça bundan daha eski olduğundan emin olabiliriz.

Karmaşık organik moleküller, göllerde ve okyanuslarda biriktikçe, Yeryüzü atmosferi büyük değişikliklere uğruyordu. Kalan pek az hafif hidrojen, uzayda kaybolarak yavaş yavaş dağılıyordu. Bu koşullar içinde, metan ve amonyak molekülleri, ayrıldıkları zaman, artık yeniden oluşamıyorlardı ve yerlerinde karbon gazı ile azot bırakarak, onlar da kayboluyorlardı; bu azot gazı bugün atmosferin başlıca bileşenidir. Bu yeni atmosferde, fırtınaların elektrik akımları ya da Güneşin mor-ötesi ışınları ile, organik moleküllerin bileşimleri meydana gelemiyordu.

Yaşamın başlangıcı üzerinde bir şeyler söylemeye, yani karmaşık moleküller bakımından çok zengin bir başlangıç ortamında kendi kendine üreme yeteneği olan en basit ilk organizmaların neler olduğunu bilmeye gerek olmaksızın diyebiliriz ki, hücrelerde gözlenen metabolizma, yeryüzü ortamının böyle bir tarihi ile bağdaşır görünmektedir. Hücrenin çalışmasını sağlayan bugünkü kimyasal mekanizmaların çok erkenden oluştuklarını düşünebiliriz. Demek ki, bu meta-

bolizmanın ayırdedici bir özelliği, havaya gerek duymamasıdır. Oksijen burada işe karışmaz, bu da, bu metabolizmanın, oksijenden yoksun bir ilk çevrede meydana gelmiş olması olgusu ile uzlaşma halindedir.

Biyoloji bilgini O. Wald'e göre, gerekli oldukça kimyasal mekanizmaların birbiri ardınca ortaya çıkmış olmaları düşünülebilir, çünkü çevre değişiyor ve karmaşık moleküller bakımından fakirleşiyordu. Bildiğimiz kadarı ile böyle bir süreç henüz açıklığa kavuşturulmamıştır.

Büyük bir olasılıkla metabolizma mekanizmalarının ilki, mayalanma olmuştur. Alt ürün olarak karbon gazı vermek suretiyle, bu mayalanma enerji üretir.

Sonra, HMP (*hexasemonophosphate*'ın kısaltılmışı) çevrimi meydana çıkmış olabilir, bu sayede hücreler, doğuş halinde hidrojen üretirler ki, bu da, indirgeme tepkimelerini gerçekleştirebilir. Hücreler için biraz da solunum rolünü oynayan bu mekanizma esas olarak hidrojeni serbest hale getiren suyun bir çözülmesinden ibarettir; kalan oksijen önce karbona (örneğin bir şekerden gelen karbona) bağlanır, sonra karbon gazı şeklinde atılır.

Sonra *phosphorylation* gelmiş olsa gerektir. Burada ışığın klorofil ya da *cytochrome* gibi bazı maddeleri etkileyerek, enerjisini hücreye aktarması sözkonusudur. Canlı varlıklarda renklerin çeşitliliğini meydana getiren hücre boyaları bu aşamada ortaya çıkmış olacaklardır. Klorofil, hücrenin yalnızca güneş enerjisini tükettiği bir araç değildir, bakterilerde olduğu kadar *alg*lerde ve bitkilerde de bir fotosentez etkisini gösterir. Korbonu başka moleküllerle birleştirerek yeniden kullanmak üzere, havanın karbon gazını ayırır. Bitkiler türedikleri zaman su ile karbon gazını, bir fotosentez yoluyla, aynı zamanda ayırmışlardır, ve bu da şimdiki gibi glikozun bileşmesine ve oksijenin serbest kalmasına yolaçmıştır.

Yeryüzü atmosferinin tarihi, yaşamın tarihine sıkı sıkıya

bağlı görünüyor. Gerçekten de şimdi atmosferin her molekülünün, her iki ya da üçbin yılda bir kere bir canlı varlıktan geçmesi için yeterince bitki vardır. Bu, yaşamın, ele aldığı ve değiştirdiği atmosferin gazlarının düzeni üzerinde çok büyük bir etkisi olması demektir.

Bitkiler, klorofilin etkisi sayesinde gelişmeleri boyunca karbon gazından başlayarak, oksijen üretme gücüne ulaştıkları zaman, şimdi bulunan oksijeni atmosfere dağıtmışlardır. Böylece solunum ile aldığımız oksijen büyük bir olasılıkla, yaşamın bir ürünüdür.

Atmosferdeki oksijen oranı, atmosferin binde-biri yüzde-birine ulaştığı zaman, solunum ortaya çıkabilmiştir. Solunum topluca, fotosentezin tersi bir süreci gösterir, çünkü oksijeni karbon gazı haline getirir. Bugün, solunumla fotosentez denge halinde olmalıdır.

Yaşam mekanizmalarının sırrını çözmek ve ayrıntılı tarihini yeniden kurmak, özellikle bunun oluşunu yöneten enzimlerin nasıl ortaya çıkabildiklerini anlamak için herhalde çok zaman gerekecektir. Yaşam için esas olan bir karmaşık molekül tipinin, ilkel banyoda tükenmeye başladığı her defada yeni bir enzimin meydana çıkması gerektiği olgusu üzerinde ancak çok teorik görüşler ileri sürülebilir. Bugün enzimler, madenî ve atmosferik elemanlardan ve Güneş ışığından hareketle, yaşamın sürüp gitmesine olanak sağlıyorlar. Bunlar yaşam için gerekli olan bütün karmaşık molekülleri, bu moleküllerin Yeryüzünde ortaya çıkmalarının herhalde tersi olan bir işleyiş sırasında birleştirmişlerdir.

Hiç değilse kimyasal bakımdan, ilkel organizmaların doğmasına olanak sağlamak üzere, başlangıçta oldukça az sayıda bir madde yedeğinin yeterli olabileceğine işaret etmek ilginçtir. Öyle görünüyor ki onlara yalnızca, şekerler, lipidler ve fosfotitler, yirmi tane amino asit ve ayrıca beş temel nükleotidler gereklidir; bunlar amino asitlerle birlikte proteinlerin bileşimini gerçekleştirmeye yeterlidirler.

Böylece yaşamın tarihini işaretlemiş olması gereken başlıca aşamaların birkaçı hakkında, kabataslak da olsa bir görüşe ulaşmak olanaklıdır. Bununla birlikte, bunun büyük ölçüde çok teorik kaldığı açıktır.

Evrene yeniden dönerek bu noktada Fontenelle'in sözlerini yeniden ele alabilir ve içinde canlılar bulunan dünyaların, birden fazla olup olmadığı üzerinde konuşabiliriz. Başka gezegenlerde yaşam var mıdır? Elbette bu sorunun karşılığı ancak belirsiz olabilir, çünkü yaşamın ortaya çıkma olasılığı üzerinde çok kuşkular yer almaktadır. Bununla birlikte, yalnızca, gökbilimsel görüşle ve edindiğimiz bilgilere dayanarak hiç değilse zorunlu görülen koşulları tartışabiliriz.

Bir gezegende yaşamın doğabilmesi için, öyle görünüyor ki, bu gezegenin bir atmosferi tutabilmesi gerekmektedir. Ayrıca gezegenin ne çok küçük ne de çok iri olmaması gerekiyor: yıldız-güneşin ışığı çok kalın bir atmosferden geçemez. Çok soğuk da olmamalı, çünkü o zaman kimyasal tepkimeler çok ağır olacaktır. Elbette çok sıcak da olmamalı... Ayrıca makromolekülleri yokeden bazı mor-ötesi ışık ışınlarının atmosferde süzülmesi gerekecektir.

Böyle gezegenler bulunabilir mi? Genel olarak bu soruya yanıt vermek için şöyle fikir yürütülür: bulunan gezegenlerden yüzde-birinin bu elverişli koşulları sergilediğini kabul edelim. Gezegenlerin çok yaygın olduğuna inanılıyorsa, Galaksimizde bu tür gezegenlerden bir milyar, yani Samanyolunda canlıların bulunduğu bir milyar dünya ve bilinen Evrende 10^{17} dünya kolayca bulunabilecektir. Böylece, bilgilerimizin şimdiki durumunda, yaşamın mutlaka nadir bir olay olması gerekmeyecektir.

EKLER

BAZI SAYISAL VERİLER

FİZİK SABİTLER

Işığın hızı:

$$c = 2{,}997925 \times 10^{10} \text{ cm/san.}$$

Elektron yükü:

$$e = 4{,}80298 \times 10^{-10} \text{ elektrostatik birim}$$
$$= 1{,}60210 \times 10^{-19} \text{ coulomb.}$$

Enerji birimleri:

1 MeV = $1{,}60210 \times 10^{-6}$ erg (MeV = Milyon elektron volt).

Planck sabiti:

$$K = \frac{h}{2\pi} = 6{,}5819 \times 10^{-22} \text{ MeV/san.}$$
$$= 1{,}05449 \times 10^{-27} \text{ erg/san.}$$

Boltzmann sabiti:

$$k = 1{,}880 \times 10^{-16} \text{ erg/derece.}$$

İnce yapı sabiti:

$$\alpha = \frac{e^2}{kc} = \frac{1}{137{,}0388}.$$

Elektronun kütlesi:

$$M_e = 0{,}511006 \text{ MeV}/c^2 = 9{,}1084 \times 10^{-28} \text{ g}.$$

Protonun kütlesi:

$$M_p = 938{,}256 \text{ MeV}/c^2 = 1836{,}10 \ M_e.$$

Bir hidrojen atomunun kütlesi:

$$M_H = M_p + M_e = 1{,}6734 \times 10^{-24} \text{ g}.$$

Hidrojen atomunun Bohr yarıçapı:

$$a = \frac{h^2}{M_e e^2} = 0{,}529167 \times 10^{-8} \text{ cm}.$$

Isı ışımasının Stefan sabiti:

$$\sigma = 5{,}6698 \times 10^{-5} \text{ erg } c \text{ M}^{-2} \text{ derece}^{-4} \text{ san}^{-1}.$$

Bir serbest elektronla bir fotonun etkin kesiti:

$$\sigma_T = 0{,}66515 \times 10^{-24} \text{ cm}^2.$$

π mezonunun kütlesi:

$$m_\pi = 140 \text{ MeV}/c^2.$$

Newton gravitasyon sabiti:

$$G = 6{,}67 \times 10^{-8} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^3 \text{ san}^{-2}.$$

Avogadro sayısı: Mol için

$$No = 6{,}024 \times 10^{-23}.$$

ASTRONOMİK SABİTLER

1 yıl = $3{,}16 \times 10^7$ san.

Astronomik birim = yer yörüngesinin ortalama yarıçapı
= $1{,}496 \times 10^{13}$ cm. = 499 ışık saniyesi.

1 ışık-yılı = $9{,}4605 \times 10^{17}$ cm.

1 parsel = $3{,}085 \times 10^{18}$ cm. = 3,262 ışık-yılı.

EVRENİN GENİŞLEMESİ

Bir galaksinin v uzaklaşma hızı r uzaklığına $v = H_o r$ ile bağlıdır.

Burada H_o = Hubble sabiti adını alır ve değeri 75 km/

san/Mpc ± %25.

$$T = H_o^{-1} = 13 \text{ milyar yıl.}$$

$$c\,T = 10^{28} \text{ cm.}$$

EVRENİN BAŞLANGIÇLARI

Sıfır zamanından başlayarak sayılan ve 10^6 yıldan küçük olan t zamanı için uzayın boyutlarının genişlemesi kanununun formülü şudur:

$$R\,(t) = \text{sabit}\; t^{-1/2}.$$

Bu durumda ışımanın ısı enerjisi şu formülle elde edilir:

$$k\,T\,(\text{MeV}) = t^{1/2}\;(\text{saniye}).$$

$t > 10^6$ yıl için toplam genişlemenin formülü:

$$R\,(t) = \text{sabit}\; t^{2/3}.$$

Baryonların bir geçiş fazını ayıran kritik sıcaklık:

$$k\,T \approx 350 \text{ MeV}.$$

KÜTLE YOĞUNLUKLARI

$M_p\,c^2$ mertebesindeki $k\,T$ değerleri için ısı ışımasının kütle yoğunluğu: $\rho\beta$ (gram) $= 10^{-32}\,T^3$ (derece) ile verilmektedir.

Bundan şu elde edilir:

$$k\,T\,(\text{MeV}) = 10^{10}\;T\;(\text{derece}).$$

Galaksilerde kütlenin yoğunluğu $= \rho_o = 5 \times 10^{-31}$ g/cm^3.

Bir Eukleides ya da kapalı uzayı sağlayacak olan kütle yoğunluğu:

$$\rho \geqslant 2 \times 10^{-29} \text{ g/cm}^2.$$

Evrensel ısı ışımasının kütle yoğunluğu: 10^{-33} g/cm^3

KOZMİK KAYNAKLI İZOTROP IŞIMALAR

a) Evrensel ısı ışıması.

Sıcaklık: 2,7°K.

Enerji yoğunluğu: 0,3 eV/cm^3.

Verilen bir hacimde protonlarla ısı fotonlarının ortalama sayısının şimdiki oranı $\eta = \frac{\eta_p}{n_\gamma} \simeq 10^{-8}$.

10′ yay üzerinde %0,1 den küçük ışımanın izotropsuzluğu.

b) X ışınları (0,25 keV ile 1 MeV arasında bulunan enerji).

Enerji yoğunluğu: 3×10^{-5} eV/cm^3.

c) Gama ışınları (50 MeV den büyük enerji).

Enerji yoğunluğu: en çok 3×10^{-5} eV/cm^3.

KIRMIZIYA DOĞRU YER DEĞİŞTİRME

Bir ışıma t_1 zamanında λ_1 dalga uzunluğu ile yayınlanmışsa ve t_2 zamanında λ_2 dalga uzunluğu ile alınmışsa şu elde edilir:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1 + z = \frac{R(t_2)}{R(t_1)} .$$

Galaksilerde gözlenen en büyük yer değiştirmeler $z = 0,3$ ve kuasardakiler $z = 2,89$'dur.

BİZİM GALAKSİMİZ

Kütle $\simeq 2 \times 10^{44}$ g.

Yıldız sayısı $\simeq 10^{11}$.

Güneşin galaksinin merkezine uzaklığı: 10 kpc (30.000 ışık-yılı).

Galaksinin yaşı $\simeq 10^{10}$ yıl.

Hale'nin yarıçapı 10 ilâ 15 kpc.

Optik parlaklık: 4×10^{43} erg/san.

Manyetik alan: 3 ilâ 10×10^{-6} Oersted.

Galaksi kursunun çapı: 45 kpc.

Kursun kalınlığı: 4 kpc.

Ortalama yoğunluk: 7×10^{-24} g/cm^3.

Merkezdeki yıldız yoğunluğu: 1 $(parsek)^3$ başına 4 güneş kütlesi gravitasyonel potansiyel enerjisi: 10^5 erg.

Açısal momentum: 10^{74} g. cm^2 san^{-1}.

GALAKSİ KÜMELERİ

Ortalama çap: 3 Mpc (3×10^7 parsek).
Küme başına, ortalama galaksi sayısı: 130.

ÖRNEK BİR YILDIZ : GÜNEŞ

Yarıçapı: $6{,}9598 \times 10^{10}$ cm.
Kütle: $1{,}989 \times 10^{33}$ g.
Ortalama yoğunluk: 1,409 g/cm^3.
Parlaklık: $3{,}90 \times 10^{33}$ erg/san.
Açısal momentum: $1{,}7 \times 10^{48}$ g. cm^2. san^{-1}
Yüzey sıcaklığı: 5800°K.
Merkez sıcaklığı: $13{,}6 \times 10^6$°K.
Merkez yoğunluğu: 10 g/cm^3.
Merkez basıncı: 2×10^{17} din/cm^2.

KARA DELİKLER

Güneşin kritik yarıçapı: 3 km.

Çöküşün süresi: kütlesi güneşinkinin on katına eşit bir kütle için, dışa yayılan ışıma 5×10^{-4} saniyede 2 şiddet azalır.

NÖTRON YILDIZLARI

Güneşin kütlesindeki bir nötron yıldızı için yarıçap 18'dir ve ortalama yoğunluk 5×10^{14} g/cm^3.

Yüzeydeki manyetik alan: 10^{12} Oerstedt.

Dönüş peryodu: 1 saniye mertebesinde.

ONUR YAYINLARI Sorumlu Yönetmen: İlhan Erdost. Yönetim Yeri: Zafer Çarşısı, 26, Yenişehir, Ankara.

30 lira